

発明の名称

露光装置、露光装置の製造方法及びマイクロデバイスの製造方法

EXPOSURE APPARATUS, METHOD FOR MANUFACTURING THEREOF  
AND METHOD FOR MANUFACTURING MICRODEVICE

5

発明の背景発明の分野

本発明は、半導体素子や液晶表示素子等のマイクロデバイスの製造に用いられる露光装置、およびその露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法、さらには露光装置の製造方法に関する。

関連する背景技術

マイクロデバイスの製造工程の一つに、露光工程がある。マイクロデバイスには、例えば、液晶表示素子のように大型化しているものがあり、このようなマイクロデバイスの露光には、画面合成の手法が用いられている。画面合成の手法とは、露光対象となる感光性基板の露光領域を複数の単位露光領域に分割し、各単位露光領域に応じた露光を繰り返し、最終的に所望のパターンを合成するのである。そして、画面合成の手法では、パターン投影用のレチクル（マスク）の描画誤差や投影光学系のディストーション、感光性基板を位置決めするステージの位置決め誤差等に起因する各単位露光領域の境界位置でのパターンの切れ目の発生を防止するために、重複露光が用いられる。重複露光とは、単位露光領域同士が部分的に重なり合うように露光、詳しくは単位露光領域同士において隣接する縁部が重なり合うように露光することである。単位露光領域のうち、この縁部のよう露光が2回以上される領域を重複露光部分といい、露光が1回だけされる領域を非重複露光部分という。

しかしながら、隣接する縁部同士を単に重ね合わせた露光をすると、重複露光部分の露光量が非重複露光部分の露光量の2倍以上になり、感光剤の特性によっ

Q10  
Q11  
Q12  
Q13  
Q14  
Q15

20

ではパターンの継ぎ目部分の線幅が変化することになる。また、画面合成を行うと、隣接する単位露光領域同士の位置ずれによってパターンの継ぎ目部分に段差が発生し、デバイスの特性が損なわれることがある。さらに、画面合成された単層のパターンを多層に重ね合わせる工程を各層毎に異なる露光装置に分担させた場合、各露光装置のレンズディストーションやステージの位置決め誤差などの相違によって各層の単位露光領域の重ね合わせ誤差がパターンの継ぎ目部分で不連続に変化する。この継ぎ目部分での不連続な変化により、特にアクティブマトリックス液晶デバイスではパターン継ぎ目部分でコントラストが不連続に変化してデバイスの品質が低下することになる。

10 以上のような画面合成上の不都合を除去することのできる露光装置が、たとえば特開平6-302501号公報に開示されている。この公報に開示された露光装置では、露光サイズを決定するためのレチクルブラインド部に、所望のパターンが得られるように露光量を制御することのできる機能を付加している。そして、この露光量制御可能なレチクルブラインド機能を用いて、感光性基板上の異なる領域に対してパターン像の一部同士が重なり合うように光学像を形成する際に重複露光部分の露光量を徐々に変化させることにより、上述の不都合を解消している。

更に、特開平6-244077号公報や特開平7-235466号公報に開示された露光装置では、レチクルとほぼ共役な位置に配置されたレチクルブラインドに、中心からその外側に向かって透過率が100~0%になるように減光された数mmの幅の減光部を形成している。そして、この減光部を介して重複露光部分への露光を行い、重複露光部分の露光量と非重複露光部分の露光量とがほぼ等しくなるように構成している。

特に、特開平7-235466号公報に開示された露光装置では、遮光部と開口部との間に形成された減光部において、遮光部に向かうにしたがって密度が大きくなるように遮光性部材を形成している。更に詳しくは、減光部において、ガ

ラス基板上に露光装置の限界解像力以下の大きさを有するドット状の C r (クロム) パターンを、その密度が遮光部に向かうにつれて大きくなるように配置している。また、露光中にレチクルブラインドをほぼ等速で走査することにより、重複露光部分の全体に亘って最終的にほぼ均一な露光量が得られるように制御している。

オーバーラップ露光を行わない場合、ブラインド結像光学系（レチクルブラインドの開口をレチクル上に投影するリレー光学系）の光学的な収差や設定誤差等の影響があつても、その影響がレチクルの遮光帯の中にだけ及ぶように設定すればよい。したがつて、照明系中のブラインド結像光学系の収差に関する調整はほとんど行われることなく、レチクルブラインドの開口の像をレチクル上に形成する際のピントのみ調整していた。

しかしながら、例えはレチクルブラインドを走査することによって重複露光する場合には、レチクルブラインドの直線状のエッジを介してレチクル上の照明領域を規定することになる。このため、レチクル上におけるブラインドエッジの像の直線性や、ブラインドエッジの像が水平方向または鉛直方向に対して傾いていないことが重要となる。例えは、照明光学系内のブラインド結像光学系（レチクルブラインドの開口をレチクル上に投影するリレー光学系）にディストーションが発生していると、第一の露光と第二の露光とで重複露光する場合、重複露光部分の幅がディストーションの影響で不均一になり、結果として重複露光部分における露光量も不均一になつてしまつ。

以上、ディストーションを例にとって説明したが、ブラインド結像光学系に他の収差がある場合にも、重複露光部分の露光量が不均一になる。すなわち、コマ収差、球面収差、像面湾曲、非点収差等の収差のためにブラインド結像光学系の像高に応じて像のボケ具合が異なる。これにより、重複露光部分における照度の不均一がとなり、露光量の不均一が発生する。また、ブラインド結像光学系内の光学部材の偏心等により発生する、いわゆる偏心収差も上記収差と同様に、重複

5  
10  
15

20

25

露光部分における露光量の不均一の発生原因となる。

更に、上述の透過率分布を有する減光部を介して照度をほぼ直線状に変化させて重複露光する場合には、レチクルブラインドとレチクルとの間の倍率すなわちブラインド結像光学系の結像倍率も重要となる。すなわち、レチクル上には、感光性基板上においてオーバーラップさせる重複露光部分の幅に光学的に対応する幅を有する重複照明部分が予めバターニングされている。しかし、ブラインド結像光学系の倍率が設計値と実質的に異なる場合、レチクル上における重複照明領域の幅が設定値（設計値）よりも小さくなることや、逆に大きくなることがある。その結果、所望の重複露光を行うことができなくなる。

なお、例えば、通常の縮小投影露光のように、重複露光を行わない場合も、ブラインド結像光学系の光学的な収差や設定誤差等が生じると、露光領域における露光量が不均一となり、所望のパターンを形成することができない場合がある。

#### 発明の概要

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、重複露光部分での露光量の不均一性を小さくできる露光装置およびその製造方法を提供することを目的とする。

本発明の他の目的は、本発明の露光装置を用いて、重複露光により良好な大面積のマイクロデバイス（半導体素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することのできる製造方法を提供することを目的とする。

本発明のさらに他の目的は、露光領域における露光量の不均一性を小さくすることができる露光装置およびその製造方法並びに本発明の露光装置を用いて、良好な大面積のマイクロデバイスを製造する方法を提供することを目的とする。

本発明の一態様に係る露光装置は、感光性基板上にマスクの転写用パターンを重複露光することにより、マスクの転写用パターンよりも大きなパターンを感光性基板に露光する露光装置において、照明光を供給する光源ユニットと、転写

用パターンを有するマスクに照明光を導く照明光学系と、を含み、照明光学系は、マスクと光学的にほぼ共役な位置に配置されてマスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定ユニットと、照明領域規定ユニットにより規定された所定領域をマスク上に投影してマスク上に照明領域を形成する結像光学系と、を含み、露光装置は、さらに、マスク上に形成される照明領域または感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を調整するための調整ユニットを含む。

本発明の他の態様に係る露光装置は、感光性基板上にマスクの転写用パターンを露光する露光装置において、照明光を供給する光源ユニットと、転写用パターンを有するマスクに光源ユニットから供給された照明光を導く照明光学系と、感光性基板上に形成される露光領域にマスクの転写用パターンの像を投影する投影光学系と、を含み、照明光学系は、マスクと光学的にほぼ共役な位置に配置されてマスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定ユニットと、照明領域規定ユニットにより規定された所定領域を前記マスク上に投影してマスク上に照明領域を形成する結像光学系と、を含み、露光装置は、マスク上に形成される照明領域または感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を調整する調整ユニットをさらに含み、ここで、結像光学系の照明領域規定ユニット側の最大開口数を  $NA_1$ 、結像光学系の結像倍率の絶対値を  $\beta$ 、投影光学系の感光性基板側の最大開口数を  $NA_2$  とするとき、 $0.01 < NA_1 / (NA_2 \times \beta) < 6$  なる式を満たす。

本発明のさらに他の態様に係る露光装置は、所定のパターンを有するマスクにて照明領域を形成する照明領域形成光学系を含む照明光学系と、マスクのパターン像を感光性基板に投影する投影光学系と、照明光学系を調整する調整ユニットと、を含み、ここで、照明領域形成光学系の光源側の最大開口数を  $NA_1$ 、照明領域形成光学系の結像倍率  $\beta$ 、投影光学系の感光性基板側の最大開口数を  $NA_2$  とするとき、次式を満足する。 $0.01 < NA_1 / (NA_2 \times \beta) < 6$

本発明のさらに他の態様に係るマイクロデバイスの製造方法は、本発明に係る露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法において、照明光学系によってマスクを照明する照明工程と、マスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する露光工程と、を含む。

5 本発明のさらに他の態様に係るマイクロデバイスの製造方法は、マイクロデバイスの製造方法であって、転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明工程と、感光性基板上にマスクの転写用パターンを重複露光する露光工程と、を含み、照明工程は、マスクと光学的にはほぼ共役な位置においてマスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定工程と、結像光学系を用いて所定領域を前記マスク上に投影してマスク上に照明領域を形成する照明領域形成工程と、を含み、マイクロデバイスの製造方法は、さらに、露光工程に先だって、結像光学系の光学特性を調整するための調整工程を含む。

10 本発明のさらに他の態様に係るマイクロデバイスの製造方法は、転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明工程と、感光性基板上にマスクの転写用パターンを露光する露光工程と、露光工程は、投影光学系を用いて感光性基板上にマスクの転写用パターンの像を投影する投影工程と、を含み、照明工程は、マスクと光学的にはほぼ共役な位置においてマスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定工程と、結像光学系を用いて所定領域をマスク上に投影してマスク上に照明領域を形成する照明領域形成工程と、を含み、

15 20 ここで、結像光学系のマスク側と反対側の最大開口数をNA1、結像光学系の結像倍率の絶対値を $\beta$ 、投影光学系の感光性基板側の最大開口数をNA2とするとき、 $0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 6$ なる式を満たし、マイクロデバイスの製造方法は、さらに、露光工程に先だって、結像光学系の光学特性を調整するための調整工程を含む。

25 本発明のさらに他の態様に係るマイクロデバイスの製造方法は、所定のパターンを有するマスクにて照明領域を形成する照明領域形成光学系を含む照明光学

系を用いてマスクを照明する工程と、マスクのパターン像を感光性基板に投影する投影光学系を用いて感光性基板を露光する工程と、照明光学系を調整する工程と、を含み、ここで、照明領域形成光学系の光源側の最大開口数を  $NA_1$ 、照明領域形成光学系の結像倍率  $\beta$ 、投影光学系の感光性基板側の最大開口数を  $NA_2$  とするとき、次式を満足する。 $0.01 < NA_1 / (NA_2 \times \beta) < 6$

本発明のさらに他の態様に係る露光装置の製造方法は、転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明光学系と、マスクの転写用パターン像を感光性基板上に投影する投影光学系と、を含み、感光性基板上にマスクの転写用パターンを重複露光することにより、マスク上の転写用パターンよりも大きなパターンを感光性基板に露光する露光装置の製造方法において、照明光学系に残存する回転非対称収差又は偏心収差を補正する収差補正工程と、収差補正工程により悪化する光学特性を調整する調整工程と、含む。

本発明のさらに他の態様に係る露光装置の製造方法は、転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明光学系と、マスクの転写用パターン像を感光性基板上に投影する投影光学系と、を含み、感光性基板上にマスクの転写用パターンを露光する露光装置の製造方法において、照明光学系に残存する回転非対称収差又は偏心収差を補正する収差補正工程と、収差補正工程により悪化する光学特性を調整する調整工程と、を含み、照明光学系に含まれる結像光学系のマスク側と反対側の最大開口数を  $NA_1$ 、結像光学系の結像倍率の絶対値を  $\beta$ 、投影光学系の感光性基板側の最大開口数を  $NA_2$  とするとき、 $0.01 < NA_1 / (NA_2 \times \beta) < 6$  なる式を満たす。

本発明のさらに他の態様に係る露光装置の製造方法は、転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明光学系と、マスクの転写用パターン像を感光性基板上に投影する投影光学系とを含む露光装置の製造方法において、マスク上に形成される照明領域または感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を計測する計測工程と、計測工程による計測結果に基づいて、照明光学系に残存す

10  
15  
20  
25

る回転対称収差を補正する第1収差補正工程と、計測工程による計測結果に基づいて、照明光学系に残存する回転非対称収差を補正する第2収差補正工程と、を含む。

本発明のさらに他の態様に係る露光装置の製造方法は、マスクに形成されたバターンを感光性基板に露光する露光装置の製造方法において、マスクにて照明領域を形成する照明領域形成光学系を含む照明光学系を設置する工程と、マスクのバターン像を感光性基板に投影する投影光学系を設置する工程と、照明光学系の光学特性を計測する工程と、照明光学系を調整する工程と、を含み、ここで、照明領域形成光学系の光源側の最大開口数をNA1、照明領域形成光学系の結像倍率 $\beta$ 、投影光学系の感光性基板側の最大開口数をNA2とするとき、次式を満足する。

$$0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 6$$

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図2は、本発明の実施形態に係る露光装置に備えられるレチクルブラインド装置の要部構成を示す拡大斜視図である。

図3は、本発明の実施形態において、4つのレチクルバターンを画面合成する場合におけるプレートP上の4つの単位露光領域EA1～EA4の配置およびその重なり合わせを示す図である。

図4は、本発明の実施形態に係る露光装置に用いることができるレチクルRのバターン面の構成を示す平面図である。

図5は、本発明の実施形態において、一对のレチクルブラインド部材RB1、RB2とレチクルRとの間の光路中に配置されたブラインド結像光学系のレンズ構成を示す図である。

図6Aは、本発明の実施形態のブラインド結像光学系における球面収差を示す

図である。

図 6 B は、本発明の実施形態のブラインド結像光学系における非点収差を示す図である。

図 6 C は、本発明の実施形態のブラインド結像光学系における歪曲収差を示す図である。

図 6 D は、本発明の実施形態のブラインド結像光学系における横収差（コマ収差）を示す図である。

図 7 は、本発明の実施形態に係る露光装置の製造方法における調整工程（計測工程、補正工程など）を説明するフローチャートである。

図 8 は、本発明の実施形態に係る投影光学系 P L の第 1 構成例のレンズ構成を示す図である。

図 9 A は、本発明の実施形態に係る投影光学系 P L の第 1 構成例における球面収差を示す図である。

図 9 B は、本発明の実施形態に係る投影光学系 P L の第 1 構成例における非点収差を示す図である。

図 9 C は、本発明の実施形態に係る投影光学系 P L の第 1 構成例における歪曲収差を示す図である。

図 9 D は、本発明の実施形態に係る投影光学系 P L の第 1 構成例における横収差を示す図である。

図 10 は、本発明の実施形態に係る投影光学系 P L の第 2 構成例のレンズ構成を示す図である。

図 11 は、本発明の実施形態に係る投影光学系 P L の第 3 構成例のレンズ構成を示す図である。

図 12 は、本実施形態の第 1 変形例にかかる通常露光方式の露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 13 は、本実施形態の第 2 変形例にかかる通常露光方式の露光装置の構成

を概略的に示す図である。

図14は、本実施形態の第3変形例にかかる通常露光方式の露光装置の構成を概略的に示す図である。

図15は、本発明に係る露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

図16は、本発明に係る露光装置を用いてプレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

#### 好適な実施例の説明

本発明は、マスクの転写用パターンを感光性基板上に重複露光する露光装置においてマスク上または感光性基板上での光学特性を調整するための調整ユニットを備えている。具体的には、調整ユニットは、照明領域規定ユニットや、結像光学系の一部の光学部材（レンズなど）を、光軸に沿って移動させたり、光軸と直交する面内でシフトさせたり、光軸に対して傾斜させたり、光軸回りに回転させたりすることにより、例えば、結像光学系の光学特性（収差、倍率、ピント）を補正（調整）する。ここで、照明領域規定ユニットとは、マスクと光学的にほぼ共役な位置に配置されてマスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定するものである。結像光学系とは、照明領域規定ユニットにより規定された所定領域をマスク上に投影してマスク上に照明領域を形成するものである。

ところで、結像光学系の光学特性の調整に伴って、他の光学特性が悪化することがある。具体的には、結像光学系の収差を補正するために光学部材を上記のように移動等させると、マスク上または感光性基板上での照度均一性が悪化したり、マスク上または感光性基板上でのテレセン性が悪化したりする。そこで、調整ユニットは、たとえば結像光学系の光学特性を調整するために、結像光学系を構成

する第1レンズまたは第1レンズ群を移動等させると共に、この調整により悪化する光学特性を補正するために、結像光学系を構成する第2レンズまたは第2レンズ群を移動等させる。

5 このように、本発明によれば、露光装置に組み込んだ状態の結像光学系に収差が実質的に残存していても、照明領域規定ユニット（視野絞り）の開口部等の像をマスク上に形成する結像光学系または照明領域規定ユニット自身を光学調整することにより、結像光学系の光学特性を、ひいては照明光学系を含む露光光学系の光学特性を最終的に調整することができる。その結果、照明領域規定ユニットの開口部等の像をマスク上にほぼ忠実に結像させることができるとなる。具体的には、マスク上における照明領域規定ユニットの開口エッジの像の直線性及び方向性（水平方向または鉛直方向に対して傾いていないこと）が確保され、重複露光部分の幅が均一になり、結果として重複露光部分における露光量も均一になる。

以上のように、本発明の露光装置では、たとえばマスク上の照明領域を規定する結像光学系の収差や倍率変動に起因する重複露光部分での露光量の不均一性をなくすことが可能となるので、重複露光部分の露光量と非重複露光部分の露光量とをほぼ等しくした良好な重複露光を行うことができる。つまり、結像光学系のザイデルの5収差や波面収差、さらには偏心に伴ない発生する収差を調整可能に構成することにより、結像光学系の結像性能が向上し、マスク上または感光性基板上に形成される照明視野内での収差が良好に補正されるので、良好な重複露光を行うことができる。また、本発明の露光装置の製造方法では、露光装置に組み込まれた結像光学系の収差や倍率変動が良好に調整されるので、重複露光部分の露光量と非重複露光部分の露光量とをほぼ等しくした良好な露光を行うことができる露光装置を実現することができる。さらに、本発明の露光装置を用いて、マスクを照明し、マスクの転写用パターンの像を感光性基板に重複露光することにより、良好な大面積のマイクロデバイスを製造することができる。

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形

5 態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、本実施形態では、液晶表示基板の製造に用いられる投影露光装置、すなわちマスク（以下、「レチクル」という）上の転写用パターンを所定の倍率で、レジストが塗布された感光性基板（以下、「プレート」という）上に投影する投影露光装置に対して、本発明を適用している。本発明の実施形態は重複露光を行う露光装置であるが、本発明はこれに限定されず、例えば通常の縮小投影露光のように、重複露光を行わない露光にも適用することができる。

0 図1では、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸が、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にX軸が、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に垂直にY軸がそれぞれ設定されている。

15 図1に示す露光装置は、たとえば超高圧水銀灯からなる光源21を備えている。なお、光源21として、波長248nmのKrFエキシマレーザ光源、波長193nmのArFエキシマレーザ光源などのようなレーザ光源を用いることもできる。光源21は、回転楕円面からなる反射面を有する楕円鏡22の第1焦点位置に位置決めされている。したがって、光源21から射出された照明光束は、反射鏡23（平面鏡）を介して、楕円鏡22の第2焦点位置に光源像を形成する。この第2焦点位置には、シャッター24が配置されている。

20 楕円鏡22の第2焦点位置に形成された光源像からの発散光束は、コレクターレンズ25によりほぼ平行な光束に変換された後、所望の波長域の光束のみを透過させる波長選択フィルター26に入射する。波長選択フィルター26では、たとえばi線（365nm）の光だけが露光光として選択される。この選択された光がフライアイ・インテグレーター（オプティカルインテグレータ）27に入射する。なお、波長選択フィルター26では、たとえばg線（436nm）の光とh線（405nm）とを同時に選択することもできるし、さらにg線の光とh線の光とi線の光とを同時に選択することもできる。

25 フライアイ・インテグレーター27は、多数の正レンズエレメントをそれらの

中心軸線が光軸AXに沿って延びるように縦横に且つ稠密に配列することによって構成されている。したがって、フライアイ・インテグレーター27に入射した光束は、多数のレンズエレメントにより波面分割され、その後側焦点面（すなわち射出面の近傍）にレンズエレメントの数と同数の光源像からなる二次光源を形成する。すなわち、フライアイ・インテグレーター27の後側焦点面には、実質的な面光源が形成される。

二次光源からの光束は、フライアイインテグレーター27の後側焦点面の近傍に配置された開口絞り28により制限された後、第1リレーレンズ（第1リレー光学系）29に入射する。なお、開口絞り28は、後述する投影光学系PLの入射瞳面と光学的にほぼ共役な位置に配置され、照明に寄与する二次光源の範囲を規定するための可変開口部を有する。開口絞り28は、この可変開口部の開口径を変化させることにより、照明条件を決定する $\alpha$ 値（投影光学系PLの瞳面の開口径に対するその瞳面上での光源像の口径の比）を所望の値に設定する。

第1リレーレンズ29を介して集光された光束は、レチクルRの照明領域（照明視野）を規定するためのレチクルブラインド装置30に入射する。照明領域規定ユニットとしてのレチクルブラインド装置30は、第1ブラインド部材RB1と第2ブラインド部材RB2とを有する可変レチクルブラインド部材（可変視野絞り部材）、第1ブラインド部材RB1を光軸AXと直交する面に沿って移動させる第1ブラインド駆動系DR1、及び第2ブラインド部材RB2を光軸AXと直交する面に沿って移動させる第2ブラインド駆動系DR2を有する。

レチクルブラインド装置30の一対のレチクルブラインド部材RB1、RB2を透過した光束は、ブラインド結像光学系100を介して、所定の転写パターンが形成されたレチクルRを重畳的に照明する。すなわち、第1リレーレンズ29からの光束が一対のレチクルブラインド部材RB1、RB2を重畳的に均一に照明することによって、レチクルR上では適切な照明領域（照明視野）が形成される。ブラインド結像光学系100は、光源側に配置され第1結像レンズとなる前

20200415-001

方レンズ群31と、レチクル側に配置され第2結像レンズとなる後方レンズ群33と、前方レンズ群31と後方レンズ群33の間の光路中に配置され光路折り曲げ用の反射鏡（平面鏡）32と、を含む。

5 ブラインド結像光学系100を介してレチクルR上に形成される照明範囲の大きさを変更する場合、一対のレチクルブラインド部材RB1、RB2は、必要に応じて一対のブラインド駆動系DR1、DR2によってそれぞれ駆動される。なお、一対のブラインド駆動系DR1、DR2の駆動は、入力装置40を介して制御装置41に入力されたレチクルR又はプレートPでの照明領域を変更すべき入力情報（プロセス情報等）に基づいて、制御装置41によって制御される。

10 レチクルRを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるプレートPに達する。こうして、プレートP上の単位露光領域には、レチクルRの転写パターンの像が形成される。ここで、回路パターン等の所定のパターンが描写されたレチクルRは、レチクルステージRS上に載置されている。また、プレートPは、投影光学系PLの光軸AXに対して垂直な平面（XY平面）内において二次元的に移動可能なプレートステージPS上に載置されている。なお、上述したように、フライアイ・インテグレータ27の後側焦点面に設けられた開口絞り28と投影光学系PLの入射瞳面とがほぼ共役に配置されているので、投影光学系PLの入射瞳面上に開口絞り28により制限された二次光源の像（開口絞り28の開口部の像）が形成され、レチクルRおよびプレートPがいわゆるケーラー照明される。

15 また、図1の露光装置には、プレートステージPSの位置（例えばX方向、Y方向およびZ方向の3つの方向）を検出するための位置検出装置（干渉計等）42が設けられている。位置検出装置42からの位置信号は、制御装置41に供給される。制御装置41は、位置検出装置42からの位置信号に基づいて、プレートステージPSを移動させるステージ駆動装置43を制御する。これによって、プレートステージPSの各方向（例えばX方向、Y方向およびZ方向の3つの方

向)における位置が制御される。したがって、プレートステージP SをひいてはプレートPを二次元的に移動させながら順次露光を行うことにより、プレートPの各単位露光領域にレチクルRのパターンが逐次転写される。

さらに、プレートPを保持するプレートステージP Sの一端には、照明光学系(21~33)と投影光学系P Lとの双方を含む露光光学系、照明光学系(21~33)、またはブラインド結像光学系100の光学特性(収差や照明特性)を計測するための光電検出装置50が設けられている。この光電検出装置50からの検出信号は、制御装置41に供給される。また、光電検出装置50における計測結果は、制御装置41と電気的に接続された表示装置44によって表示される。

ここで、光電検出装置50は、例えば微小なピンホールを有する光電センサー、あるいは拡大光学系とCCDとを備えた受光センサー等で構成されている。これにより、露光光学系(21~33、PL)、照明光学系(21~33)、またはブラインド結像光学系100の光学特性としての諸収差や照度分布等を光電的に検出することができる。なお、光電検出装置50は、図1に示すプレートステージP Sの2次元移動によって、投影光学系P Lの像面に沿って2次元的な光学特性(照明特性)を検出する。

ところで、後述するように、ブラインド結像光学系100において複数のレンズが、光軸AXに沿って移動可能に、光軸AXと直交する面に沿ってシフト(すなわち移動)可能に、あるいは光軸AXに対して傾斜可能に、あるいは必要に応じて光軸AX回りに回転可能に構成されている。光電検出装置50にて得られた測定結果に基づいて制御装置41は制御信号を出し、これらのレンズの移動(シフトおよび傾斜を含む)および回転は、制御装置41からの制御信号に基づいて、調整ユニットの一例であるレンズ駆動装置45によって駆動される。これにより、照明光学系の光学性能が良好に調整される。なお、この場合、照明光学系及び投影光学系は、後述する条件式(1)を満足することが好ましい。

図2は、図1のレチクルブラインド装置30の要部構成を示す拡大斜視図であ

って、光軸AXに沿って光源側からレチクルブラインド装置30を構成する一对のレチクルブラインド部材RB1およびRB2を見た図である。図2に示すように、レチクルブラインド装置30は、YZ平面に平行なプレート状に形成された透明なガラス基板からなる第1ブラインド部材RB1および第2ブラインド部材RB2を備えている。第1ブラインド部材RB1及び第2ブラインド部材RB2は、光軸AXと直交している。レチクルRのパターン面と共役な面と、光軸AXと、の交点をCPとする。第1ブラインド部材RB1と交点CPの距離は、第2ブラインド部材RB2と交点CPの距離と等しい。具体的には、一对のレチクルブラインド部材RB1、RB2をそれぞれ機械的に駆動するために、一对のレチクルブラインド部材RB1とRB2との間には数百μmの間隔が確保されている。

また、第2ブラインド部材R B 2と対向する第1ブラインド部材R B 1の対向面には、遮光領域a 1及び減光領域b 1が形成されている。第1ブラインド部材R B 1と対向する第2ブラインド部材R B 2の対向面には、遮光領域a 2及び減光領域b 2が形成されている。ここで、遮光領域a 1、a 2は露光光の透過をほぼ100%遮る領域である。減光領域b 1、b 2は露光光に対してZ方向に沿って所定の透過率分布を有する領域である。レチクルブラインド部材R B 1、R B 2の対向面のうち遮光領域も減光領域も形成されていない領域（図2中白抜きの部分）は、それぞれ透光領域c 1、c 2である。透光領域c 1、c 2は露光光をほぼ100%透過させる。

第1ブラインド部材RB1では、透光領域c1がY方向およびZ方向に沿った矩形状に形成され、遮光領域a1がZ方向に沿って延びた矩形状部分とY方向に沿って延びた矩形状部分とからなり全体的にL字型に形成されている。なお、遮光領域a1は、透光領域c1の- Z方向側および- Y方向側に形成されている。そして、透光領域c1と遮光領域a1のY方向に沿った矩形状部分との間には、Y方向に沿って延びた矩形状の減光領域b1が形成されている。また、透光領域c1と遮光領域a1のZ方向に沿った矩形状部分との境界線は、Z方向に沿った

エッジパターンd 1を構成している。一方、第2ブラインド部材R B 2は、第1ブラインド部材R B 1と基本的に同じ構成を有するが、遮光領域a 2が透光領域c 2の+Z方向側および+Y方向側に形成されている点が相違している。

図3は、4つのレチクルパターンを画面合成する場合におけるプレートP上の4つの単位露光領域E A 1～E A 4の配置およびその重なり合わせを示す図である。また、図4は、レチクルRのパターン面の構成を示す平面図である。図4に示すように、レチクルRのパターン面には、転写用のパターンが描かれた矩形状のパターン領域5 1と、この矩形状のパターン領域5 1を包囲する遮光帯5 2とが形成されている。遮光帯5 2には、露光光の透過をほぼ100%遮るように、たとえばクロム膜が蒸着されている。パターン領域5 1と遮光帯5 2との間には、矩形状の遮光帯エッジ5 3が形成されている。

以下、図3および図4を参照して、第1単位露光領域E A 1、第2単位露光領域E A 2、第3単位露光領域E A 3、および第4単位露光領域E A 4の順に行う各露光動作について簡単に説明する。まず、第1単位露光領域E A 1への露光のために、第1単位露光領域E A 1を形成すべき第1露光用パターンが形成された第1レチクルR 1が、レチクル交換装置（不図示）によってレチクルステージR S上に設定される。

第1単位露光領域E A 1への露光の初期状態では、第1ブラインド部材R B 1の減光領域b 1およびエッジパターンd 1が第1レチクルR 1のパターン領域5 1と重なり、第2ブラインド部材R B 2の減光領域b 2およびエッジパターンd 2が第1レチクルR 1の遮光帯5 2と重なっている。第1単位露光領域E A 1への露光では、第1ブラインド駆動系D R 1により第1ブラインド部材R B 1を-Y方向に、第2ブラインド駆動系D R 2により第2ブラインド部材R B 2を+Y方向に一定の速度で移動させる。こうして、感光性基板であるプレートP上の第1単位露光領域E A 1への露光が行われる。

次いで、レチクル交換装置によって第1レチクルR 1はレチクルステージR S

から取り出され、その後、第2単位露光領域EA2への露光のために、第2単位露光領域EA2を形成すべき第2露光用パターンが形成された第2レチクルR2が、レチクル交換装置によってレチクルステージRS上に設定される。このレチクル交換動作と同時に、ステージ駆動装置43を介してプレートステージPSを、  
ひいてはプレートPを移動させた後、第2単位露光領域EA2への露光を行う。

第2単位露光領域EA2への露光の初期状態では、第1ブラインド部材RB1の減光領域b1および第2ブラインド部材RB2のエッジパターンd2が第2レチクルR2のパターン領域51と重なり、第2ブラインド部材RB2の減光領域b2および第1ブラインド部材RB1のエッジパターンd1が第2レチクルR2の遮光帯52と重なっている。そして、第1ブラインド駆動系RD1により第1ブラインド部材RB1を-Y方向に、第2ブラインド駆動系RD2により第2ブラインド部材RB2を+Y方向に一定の速度で移動させる。なお、露光に伴う一対のレチクルブラインド部材RB1およびRB2の移動距離は、第1単位露光領域EA1への露光と同様である。

さらに、レチクル交換装置によって第2レチクルR2はレチクルステージRSから取り出され、その後、第3単位露光領域EA3への露光のために、第3単位露光領域EA3を形成すべき第3露光用パターンが形成された第3レチクルR3が、レチクル交換装置によってレチクルステージRS上に設定される。このレチクル交換動作と同時に、ステージ駆動装置43を介してプレートPを移動させた後、第3単位露光領域EA3への露光を行う。

第3単位露光領域EA3への露光の初期状態では、第2ブラインド部材RB2の減光領域b2およびエッジパターンd2が第3レチクルR3のパターン領域51と重なり、第1ブラインド部材RB1の減光領域b1およびエッジパターンd1が第3レチクルR3の遮光帯52cと重なっている。そして、第1ブラインド駆動系RD1により第1ブラインド部材RB1を-Y方向に、第2ブラインド駆動系RD2により第2ブラインド部材RB2を+Y方向に一定の速度で移動させ

□ 10  
□ 15

20

25

る。なお、露光に伴う一対のレチクルブラインド部材R B 1 およびR B 2 の移動距離は、第1単位露光領域E A 1 および第2単位露光領域E A 2 への露光と同様である。

最後に、レチクル交換装置によって第3レチクルR 3はレチクルステージR S 5 から取り出され、その後、第4単位露光領域E A 4への露光のために、第4単位露光領域E A 4を形成すべき第4露光用パターンが形成された第4レチクルR 4 が、レチクル交換装置によってレチクルステージR S 上に設定される。このレチクル交換動作と同時に、ステージ駆動装置4 3を介してプレートPをさらに移動させた後、第4単位露光領域E A 4への露光を行う。

第4単位露光領域E A 4への露光の初期状態では、第2ブラインド部材R B 2 の減光領域b 2 および第1ブラインド部材R B 1 のエッジパターンd 1が第4レチクルR 4 のパターン領域5 1と重なり、第1ブラインド部材R B 1 の減光領域b 1 および第2ブラインド部材R B 2 のエッジパターンd 2が第4レチクルR 4 の遮光帯5 2と重なっている。そして、第1ブラインド駆動系R D 1により第1ブラインド部材R B 1を-Y方向に、第2ブラインド駆動系R D 2により第2ブラインド部材R B 2を+Y方向に一定の速度で移動させる。なお、露光に伴う一対のレチクルブラインド部材R B 1 およびR B 2 の移動距離は、第1単位露光領域E A 1～第3単位露光領域E A 3への露光と同様である。

こうして、プレートPを二次元的に移動させながら順次露光を行うことにより、プレートP上の4つの単位露光領域E A 1～E A 4において、ほぼ一定の露光光量を得ることができる。すなわち、重複露光領域（図3中斜線で示す領域）6 1～6 4とそれ以外の非重複露光領域（図3中白抜きで示す領域）とではほぼ一致した露光光量を得ることができる。なお、重複露光のその他の詳細について、本発明は、United States Patent 5,486,896を参照により挿入する（incorporated by reference）。

以上の説明では、各レチクルRのパターンをプレートP上の各単位露光領域へ

一括的に露光する、いわゆるステップ・アンド・リピート方式の重複露光を行っている。しかしながら、これに限定されることなく、各レチクルRおよびプレートPを投影光学系に対して相対移動させながら各レチクルパターンをプレートP上の各単位露光領域へスキャン露光（走査露光）する、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式の重複露光を行うこともできる。また、以上の説明では、4つ

の異なるレチクルを用いて重複露光を用いているが、これに限定されることなく、4つの単位露光用パターンが形成された1枚の大きなレチクルを用いて、レチクルRおよびプレートPをステップ移動させながら重複露光することもできる。

図5は、一对のレチクルブラインド部材RB1、RB2とレチクルRとの間の光路中に配置されたブラインド結像光学系100のレンズ構成を示す図である。なお、本実施形態のブラインド結像光学系100は、特開平9-197270号公報に開示された光学系のレンズデータを基に曲率半径等を最適化して得られた結像倍率が-4.4倍でほぼ両側にテレセントリックな光学系である。

図5では、前方レンズ群31と後方レンズ群33との間に配置された反射鏡（平面鏡）32の図示を省略し、光軸AXに沿って展開したブラインド結像光学系100のレンズ構成を示している。また、図5では、ブラインド結像光学系100の光軸AXに平行に局所座標のx軸が、光軸AXに垂直な面内において図5の紙面に平行に局所座標のy軸が、光軸AXに垂直な面内において図5の紙面に垂直に局所座標のz軸がそれぞれ設定されている。

図5のブラインド結像光学系100において、前方レンズ群31は、レチクルブラインド側、つまり物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL1と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL2と、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、平行平面板L6と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL7と、両凸レンズL8と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL9と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ

L 1 0 とから構成されている。

また、後方レンズ群 3 3 は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 1 と、両凹レンズ L 1 2 と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 1 3 と、両凸レンズ L 1 4 とから構成されている。ところで、図 5 における物体面 S 3 0 は、レチクル R のパターン形成面と光学的に共役な面であって、交点 C P (図 2 を参照) を含み光軸 A X と直交する面である。

次の (表 1) に、本実施形態にかかるプラインド結像光学系 1 0 0 の諸元の値を掲げる。 (表 1) の {主要諸元} において、 N A 1 はプラインド結像光学系 1 0 0 の物体側 (レチクルプラインド側) の最大開口数を、  $\beta$  はプラインド結像光学系 1 0 0 の結像倍率の絶対値をそれぞれ示している。また、 (表 1) の {レンズ諸元} において、第 1 カラムの面番号は物体面からの各面の順序を、第 2 カラムの記号 r は各面の曲率半径 (mm) を、第 3 カラムの記号 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔 (mm) を、第 4 カラムの記号 n は K r F エキシマレーザ光 ( $\lambda = 248.38 \text{ nm}$ ) に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、本実施形態では、プラインド結像光学系 1 0 0 を構成するすべての光学部材が同じ屈折率を有する石英から形成されている。

(表 1)

{主要諸元}

N A 1 = 0.6

$\beta = 4.44$

{レンズ諸元}

面番号	r	d	n
-----	---	---	---

(S 3 0) 30.72

1	-68.55	13.81	1.50834 (レンズ L 1)
---	--------	-------	-------------------

2	-40.75	18.11		
3	-39.48	55	1.50834	(レンズL 2)
4	-75.55	1		
5	-1988.70	43.85	1.50834	(レンズL 3)
5	6	-150.26	2	
	7	160.42	38.48	1.50834 (レンズL 4)
	8	2663.74	43.07	
	9	228.98	45	1.50834 (レンズL 5)
	10	115.51	28.67	
10	11	$\infty$	1.5	1.50834 (平行平面板L 6)
10	12	$\infty$	69.45	
10	13	-78.85	37.23	1.50834 (レンズL 7)
10	14	-111.96	1.06	
10	15	508.91	55.65	1.50834 (レンズL 8)
15	16	-890.32	36.53	
15	17	196.40	35	1.50834 (レンズL 9)
15	18	2086.20	2.57	
15	19	149.03	12.67	1.50834 (レンズL 10)
15	20	117.09	327.91	
20	21	85.54	27.87	1.50834 (レンズL 11)
20	22	308.07	16.73	
20	23	-245.82	8.6	1.50834 (レンズL 12)
20	24	79.72	45	
20	25	-56.70	20	1.50834 (レンズL 13)
25	26	-63.89	1.31	
25	27	331.68	18	1.50834 (レンズL 14)

28 -313.87 114.39

(レチクルR)

図6 A～図6 Dは、本実施形態のブラインド結像光学系100において、レチクル側の開口数NAが0.10で最大像高Yが40mmのときの諸収差図である。図6 Aは球面収差を、図6 Bは非点収差を、図6 Cは歪曲収差を、図6 Dは横収差（コマ収差）をそれぞれ示している。また、非点収差図および横収差図において、実線はサジタル像面を示し、破線はメリジオナル像面を示している。各収差図から明らかなように、ブラインド結像光学系100は、設計上において良好な性能を有することがわかる。

ところで、ブラインド結像光学系（ブラインドリレー光学系）100をはじめとして照明光学系や投影光学系PLの製造に際して、各光学系を構成するレンズの加工誤差や各光学系の組立て誤差が積み重なり、結果として収差状態が大きく変動してしまう場合がある。つまり、設計上において光学系の収差が良好に補正されても、誤差の積み重ねの影響により、露光装置に搭載した状態における光学系の実際の収差が必ずしも良好であるとは限らない。

まず、光学系の組立て誤差が発生した場合を考える。一般に、光学系の組立てに際してレンズが偏心した場合には、例えば、偏心ディストーション、像面傾斜、像面乖離、偏心コマ収差のような偏心収差が発生する。このとき、発生する偏心収差の量は、各レンズのもつ収差係数により決定されまちまちである。

そこで、ブラインド結像光学系100において、レンズの偏心により像面傾斜および偏心ディストーションを発生させてみる。具体的には、ブラインド結像光学系100において後方レンズ群33を構成する4つのレンズL11～L14を一体的にy方向に沿って+2mmだけシフトさせると、 $(y, z) = (30, 0), (0, 0), (-30, 0)$  のメリジオナル方向（図5中y方向）の像面は、それぞれx方向に沿って-1.00mm, -0.05mm, 0.88mm

だけずれて、約2 mm (1.00+0.88) の幅で像面が傾斜してしまう。この時の30 mm角の像面の4隅および各辺の中点での偏心ディストーションの発生量は、センターシフトを除き約8  $\mu\text{m}$ 程度と小さい。換言すると、ブラインド結像光学系100においてレンズL11～L14を光軸AXと直交する面に沿ってシフトさせることにより、偏心ディストーションをほとんど発生させることなく、像面傾斜を補正（調整）することが可能である。

次に、ブラインド結像光学系100のレンズL11だけをy方向に沿って+2 mmだけシフトさせると、30 mm角の像面の4隅での偏心ディストーションの発生量は、センターシフトを除き約220  $\mu\text{m}$ 程度と大きい。このとき、(y, z) = (30, 0), (0, 0), (-30, 0) のメリジオナル方向（図5中y方向）の像面は、それぞれx方向に沿って0.18 mm, 0 mm, -0.23 mm程度ずれるだけで、像面の傾斜は非常に小さい。換言すると、ブラインド結像光学系100においてレンズL11だけを光軸AXと直交する面に沿ってシフトさせることにより、像面傾斜をほとんど発生させることなく、偏心ディストーションを補正（調整）することが可能である。

以上のように、ブラインド結像光学系100中の1つまたは複数のレンズを偏心させることにより、組立て誤差などに起因して発生する偏心ディストーションや像面傾斜のような偏心収差を良好に補正することが可能になる。ここで、光軸AXと直交する面に沿ってレンズをシフト（すなわち偏心）させるためのシフト機構は、押し引きネジなどを用いて1つの偏心方向にレンズをシフトさせる機構でもよいし、あらゆる偏心方向に対応することができるよう任意の偏心方向にレンズをシフトさせる機構でもよい。

次に、ブラインド結像光学系100において、レンズを光軸方向に移動させることにより倍率や光軸に関して回転対称なディストーション等を補正する場合を考える。まず、ブラインド結像光学系100のレンズL14を光軸AXに沿って移動させることにより、ディストーションをほとんど発生させることなく倍率を

5

10

15

20

25

変化させることが可能になる。一例として、レンズL14を光軸AXに沿って3mmだけレチクル側へ移動させた場合を考える。レンズL14の光軸方向の移動によりブラインド結像光学系100のピントもずれてしまうため、レンズL1～L5を一体的に光軸AXに沿って約0.11mmだけレチクル側へ移動させることによりピント調整を行う。こうして、ブラインド結像光学系100の倍率を-4倍から-4.024倍に変化させることができるとなるが、このときディストーションは0.003%程度の変化しか起こらない。

次に、倍率をほとんど変化させることなくディストーションを変化させる場合を例に挙げる。まず、ブラインド結像光学系100のレンズL13を光軸AXに沿ってレチクルRから離れる方向へ8mmだけ移動させ、更にこのレンズ移動に伴う倍率変化を補正するためにレンズL14を光軸AXに沿ってレチクル側へ1.91mmだけ移動させる。また、これらのレンズ移動に伴うピントのずれを補正するためにレンズL1～L5を一体的に光軸AXに沿って約0.13mmだけレチクル側へ移動させる。こうして、ブラインド結像光学系100のディストーションを30mm角の像面の4隅で約70 $\mu$ mだけ補正することができるが、このとき倍率はほぼ一定に維持される。

以上のように、レチクルブラインド部材RB1、RB2の開口をレチクルR上に結像させるためのブラインド結像光学系100のレンズ群のうち、1つまたは複数のレンズを光軸方向に移動させたり光軸と直交する方向に移動（シフト）させることにより、偏心ディストーション、像面傾斜、倍率、回転対称ディストーション等の収差をそれぞれ独立に補正することができる。

なお、上述の説明では触れなかったが、結像光学系100のレンズL1とレチクルブラインド部材RB1、RB2との間の光路中に平行平面板を挿入し、その厚さを変化させることにより、球面収差を補正することができる。この場合、その平行平面板を相対的に移動可能な2枚の楔状のプリズムで構成し、その2枚の楔状のプリズムを光軸と直交する方向に相対移動させて平行平面板の厚さを実質

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

的に可変とする構成としても良いし、あるいは光学的な厚さが互いに異なる複数の平行平面板を交換可能に設定する構成としても良い。

また、ブラインド結像光学系100において、コマ収差に効くレンズを光軸方向に移動させるとともに、このレンズ移動に伴う他の収差、ピントずれ、倍率変動などをほぼ単独に補正することのできるレンズを移動させることにより、実質的にコマ収差だけを補正することが可能になる。同様に、偏心コマ収差に効くレンズを光軸と直交する方向に移動させるとともに、このレンズ移動に伴う他の収差、ピントずれ、倍率変動などをほぼ単独に補正することのできるレンズを移動させることにより、実質的に偏心コマ収差だけを補正することが可能になる。さらに、ブラインド結像光学系100のレンズ群のうち1つまたは複数のレンズを移動、シフト、傾斜などさせることにより、たとえば非点収差、像面湾曲、偏心非点隔差、像面乖離のような他の収差も補正することができる。

このように、レチクルブラインド部材RB1、RB2の減光部（減光領域）を含む開口部（光通過領域）の像をレチクルR上に転写するブラインド結像光学系100の諸収差を補正することにより、重複露光部分での露光量（積算露光量）の不均一性を小さくすることができ、重複露光部分の露光量（積算露光量）と非重複露光部分の露光量（積算露光量）とをほぼ等しくした良好な重複露光を行うことができる。

また、上述の説明では、ブラインド結像光学系100の諸収差の調整だけに着目している。しかし、当然の事ながらブラインド結像光学系100のディストーションを補正（調整）すれば、レチクルR上の照明領域又はプレートP上の露光領域（照明領域）での照度均一性が悪化（変化）することが予想される。また、ブラインド結像光学系100のレンズを偏心させれば、レチクルR上又はプレートP上のテレンセン性（テレンセントリシティ）が崩れることが予想される。ここで、テレンセン性の崩れとは、両側にほぼテレンセントリックな光学系であるブラインド結像光学系100および投影光学系PLを介してレチクルR上又はプレート

P上へほぼ垂直に入射すべき主光線が傾くことである。すなわち、テレンセン性の悪化により、レチクルR上又はプレートP上への光束の重心の照射角が90度から実質的に外れてしまう。

この場合、プライント結像光学系100の光学特性の調整に伴うレチクルR上又はプレートP上での照度均一性の悪化は、例えばフライアイ・インテグレータ27とレチクルプライント部材(RB1、RB2)との間の光路中に配置された第1リレー光学系29を構成する少なくとも1つの光学部材(レンズ等)の光軸方向の移動によって補正することができる。

また、プライント結像光学系100の光学特性の調整に伴うレチクルR上又はプレートP上でのテレンセン性の悪化は、フライアイ・インテグレータ27やコレクターレンズ25を光軸に対して偏心、つまり光軸と直交する方向に移動させることによって補正することができる。もちろん、プライント結像光学系100中のレンズを偏心させることにより、レチクルR上又はプレートP上でのテレンセン性の悪化を補正することもできる。

一例として、プライント結像光学系100の一部のレンズを偏心、つまり光軸と直交した面に沿って移動させて回転非対称ディストーション(偏心ディストーションを含む)を補正すると、レチクルR上又はプレートP上でのテレンセン性が悪化する場合がある。この場合、プライント結像光学系100の一部の別のレンズを光軸方向へ移動させたり、光軸に対して傾斜させたり、または光軸に対して偏心させることにより、テレンセン性の悪化を補正することが好ましい。

なお、照明光路中に微小な偏角を有する一対のプリズムを挿入し、この一対のプリズムをそれぞれ光軸回りに回転させることによって、像面傾斜を発生させたり、テレンセン性を補正しても構わない。また、照明光路中に他の光学部材を挿入したり、照明光路中の光学部材を変形させたりすることによって、プライント結像光学系100によるレチクルプライント部材RB1、RB2の転写像の特性を補正することが可能であれば、本発明を逸脱しない範囲内において有効である。

以上においては、屈折力を有するレンズを光軸方向へ移動させたり、光軸に対して傾斜させたり、または光軸に対して偏心させたりすることにより、レチクルR上又はプレートP上での光学特性を調整する例について述べている。しかしながら、光学パワーを有する反射型の光学部材を光軸方向へ移動させたり、光軸に対して傾斜または偏心させたりすることにより、レチクルR上又はプレートP上での光学特性を調整しても良い。

さらに、光路を反射偏向する偏向部材（偏向反射部材）としての反射鏡（平面鏡）32を光軸方向へ移動させたり、光軸に対して所定の角度を有する方向に沿って並進移動させたり、光軸に対して傾斜させたりすることにより、レチクルR上又はプレートP上での光学特性を調整しても良い。この場合、反射鏡（平面鏡）32を光軸に対して傾斜させて回転非対称ディストーション（台形ディストーション）を補正することができる。

このとき、反射鏡（平面鏡）32の光軸に対する傾斜に伴って、レチクルR上又はプレートP上でのテレンセン性が悪化したり、レチクルR上でのプラインド結像光学系100による転写像の回転又は傾斜（すなわち照明光学系の照明面の回転又は傾斜）が発生する場合がある。この場合、テレンセン性の悪化を補正するために、照明光学系を構成する一部の光学部材、たとえばフライアイ・インテグレータ27等を光軸方向へ移動させたり、又は光軸と直交する面に沿って移動させることが望ましい。一方、レチクルR上でのプラインド結像光学系100による転写像の回転又は傾斜を補正するために、レチクルプラインド部材（RB1, RB2）を光軸回りに回転させたり、レチクルプラインド部材（RB1, RB2）を光軸に対して傾斜させることが望ましい。

さらに、レチクルR上又はプレートP上での光学特性（例えば、ディストーション）を十分に補正するには、レチクルR上又はプレートP上での回転非対称な光学特性（例えば、台形・菱形ディストーション等の回転非対称なディストーション）の補正工程、およびレチクルR上又はプレートP上での回転対称な光学特

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

性（例えば、回転対称なディストーション）の補正工程の双方を行うことが良い。この場合、レチクルR上又はプレートP上での回転非対称な光学特性（例えば、台形・菱形ディストーション等の回転非対称なディストーション）を補正するために、照明光学系の一部の光学部材（例えば、ブラインド結像光学系100の一部）を光軸に対して傾斜または偏心させることが好ましい。

また、レチクルR上又はプレートP上での回転対称な光学特性（例えば、回転対称なディストーション）を補正するために、照明光学系の一部の光学部材（例えば、ブラインド結像光学系100の一部）を光軸方向に沿って移動させることが好ましい。この時、以上の2つの補正工程（回転非対称な光学特性の補正工程および回転対称な光学特性の補正工程）を実行する際に発生する光学特性の悪化（例えば、テレンセン性の悪化、照度均一性の悪化）を補正する工程（照明光学系の一部の光学部材を光軸方向へ移動させたり、光軸に対して傾斜または偏心させ等）を実行することがより好ましいことは言うまでもない。

なお、ブラインド結像光学系100を構成する光学部材を調整（移動、傾斜、シフト）させることにより、ブラインド結像光学系100における各種の光学特性を調整できることを述べたが、ブラインド結像光学系100を構成する適切な光学部材を調整させることにより、マスクや基板上での照明分布不均一性（照明ムラ）の回転対称成分や非回転対称成分を調整することができることは言うまでもない。この場合、ブラインド結像光学系100を構成する光学部材を傾斜又は光軸と直交する方向へシフトさせることにより、照明分布不均一性（照明ムラ）の非回転対称成分が調整され、ブラインド結像光学系100を構成する光学部材を光軸に沿って移動させることにより、照明分布不均一性（照明ムラ）の回転対称成分が調整される。

以上に述べたブラインド結像光学系100や照明光学系を構成する各光学部材の調整は、光電検出装置50により光電検出された計測結果に基づき、各光学部材を機械的に調整（移動、傾斜又は偏心）する調整機構（例えば、上述したシフ

10  
11  
12  
13  
14  
15

20

25

ト機構等）を介して作業者がマニュアル的に行っても良い。さらには、光電検出装置 50 により光電検出された計測結果に基づき、制御装置 41 にて照明光学系を構成する各光学部材の調整量を算出し、レンズ駆動装置 45 等を含む調整機構を介して各光学部材を自動的に調整させるようにしても良い。なお、この場合、  
5 ブラインド結像光学系や照明光学系の光学性能をより一層、良好に調整するには、照明光学系及び投影光学系は、後述する条件式（1）を満足することが好ましい。

図 7 は、露光装置の製造方法における調整工程（例えば、計測工程、補正工程）を説明するフローチャートである。以下、図 7 を参照して、露光装置の製造方法について説明する。図 1 に示す実施形態における各光学部材及び各ステージ等を前述したような機能を達成するように、電気的、機械的または光学的に連結することで、本実施形態にかかる露光装置を組み立てることができる。なお、本発明の露光装置の製造方法は、重複露光方式の露光装置に限定されることなく、通常の露光方式の露光装置にも適用可能である。このとき、前述したように、ブラインド結像光学系 100 を含む照明光学系や投影光学系 PL の製造および組み立てに際して、各光学系を構成するレンズの加工誤差や各光学系の組立て誤差が積み重なることがある。これにより、設計上において光学系の収差が良好に補正されても、露光装置に搭載した状態における光学系の実際の収差が必ずしも良好であるとは限らない。

そこで、本実施形態では、露光装置を組み立てた後で、プレート P 上に形成される露光領域での光学特性を計測する（S101）。具体的には、レチクルブラインド部材 RB1、RB2 を所定位置に位置決めし、レチクルステージ RS 上に所定のテストレチクル TR をセットする。テストレチクル TR は、通常のパターン転写用のレチクル R と基本的に同じ構成を有するが、回路パターンに代えて、たとえば二方向（X 方向および Y 方向）に沿った一対のスケールマークが形成されている。計測工程では、テストレチクル TR の一対のスケールマークを、投影光学系 PL を介して、プレート P 上に試し露光を行う。

その結果、プレートP上には、テストレチクルTRの一対のスケールマークと、レチクルブラインド部材RB1、RB2の開口部のエッジとが転写される。上述のプレートP上への試し露光は、たとえばブラインド結像光学系100の一部または全部の光学部材を光軸方向に移動させながら、すなわちレチクルブラインド部材(RB1、RB2)の開口像のピントを外しながら、複数回に亘って繰り返される。こうして、様々なピント状態で焼き付けられたレチクルブラインド部材(RB1、RB2)の開口像のサイズ、形状および位置をスケールマークに基づいて読み取ることにより、レチクルブラインド部材RB1、RB2のピント位置および露光光学系(ブラインド結像光学系100や投影光学系PLを含む)に残存する収差が計測される。なお、レチクルブラインド部材RB1、RB2やプレートステージPSを光軸方向に移動させることにより、レチクルブラインド部材RB1、RB2の開口像のピントをずらせることができる。

ただし、投影光学系PLは、露光装置に搭載する前に単体としての収差状態の調整がすでに十分に行われているのが普通であり、その設計上の光学特性は照明光学系の設計上の光学特性に比して著しく厳格に規定されている。したがって、試し露光により計測された残存収差は、実用上、ブラインド結像光学系100の残存収差と考えることができる。そこで、予め求めておいた各光学部材の移動、シフト、傾斜、偏心、および回転と補正される収差(種類およびその量)との関係に基づき、計測した収差状態に応じてブラインド結像光学系100の残存収差を補正する。以下、具体的な説明を簡単にするために、ブラインド結像光学系100にディストーションが残存している場合を想定する。

この場合、ブラインド結像光学系100の光学特性の計測結果から、回転対称な収差成分(回転対称なディストーションの成分など)と回転非対称な収差成分(回転非対称なディストーションの成分など)とを抽出する(S102)。そして、抽出した回転対称な収差成分に応じて、所定の光学部材を所定量だけ移動させることにより、回転対称な収差成分を補正する(S103)。すなわち、回転

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

対称な収差成分を補正（調整）する工程では、たとえば回転対称ディストーションを補正するためにブラインド結像光学系100のレンズL13を光軸AXに沿って移動させ、このレンズL13の移動に伴う倍率変化を補正するためにレンズL14を光軸AXに沿って移動させ、レンズL13およびL14の移動に伴うピントのずれを補正するためにレンズL1～L5を一体的に光軸AXに沿って移動させる。

次いで、抽出した回転非対称な収差成分（回転非対称なディストーション成分等）に応じて、所定の光学部材を所定量だけ移動させることにより、回転非対称な収差成分（回転非対称なディストーション成分等）を補正する（S104）。

すなわち、回転非対称な収差成分を補正（調整）する工程では、たとえばブラインド結像光学系100においてレンズL11だけを光軸AXと直交する面に沿ってシフトさせることにより、像面傾斜をほとんど発生させることなく、偏心ディストーションを補正する。このとき、前述したように、ブラインド結像光学系100のディストーションの補正（調整）により、レチクルR上又はプレートP上での光学特性としての照度均一性が悪化することがある。また、ブラインド結像光学系100の偏心ディストーションの補正（調整）により、レチクルR上又はプレートP上での光学特性としてのテレセン性が悪化することがある。すなわち、回転対称な収差または回転非対称な収差の補正（調整）に応じて、ブラインド結像光学系100を含む照明光学系の光学特性（照明特性）が悪化する場合には、その光学特性の悪化を補正（調整）する工程を実行することが好ましい。

そこで、例えばフライアイ・インテグレータ27とレチクルブラインド部材RB1、RB2との間の光路中に配置された第1リレー光学系29を構成する少なくとも1つの光学部材（レンズ等）を光軸AXに沿って移動させることにより、ブラインド結像光学系100の光学特性の調整に伴うレチクルR上又はプレートP上での照度均一性の悪化を補正する（S105）。また、たとえばフライアイ・インテグレータ27やコレクターレンズ25を光軸AXに対して偏心させる

(光軸AXと直交する方向に移動させる)ことによって、ブラインド結像光学系100の光学特性の調整に伴うレチクルR上又はプレートP上でのテレンセン性の悪化を補正する(S106)。以上のように、上記工程(S103, S104)によってブラインド結像光学系100を含む照明光学系にて悪化する光学特性を補正(調整)するには、照度補正工程(S105)とテレンセン補正工程(S106)との少なくとも一方を実行することが良い。

こうして、以上の収差補正と収差状態の確認(計測)とを繰り返すことによって、ブラインド結像光学系100の光学特性の調整工程が、ひいては照明光学系を含む露光光学系全体の調整工程が完了する(S107)。

なお、図7に示す調整方法を用いた露光装置の製造方法を全体の製造フローの中で簡単に説明する。まず、図7に示す各工程に先立って、マスクにて照明領域を形成する照明領域形成光学系(ブラインド結像光学系)を含む照明光学系を露光装置のフレームに設置する工程と、マスクのパターン像を感光性基板に投影する投影光学系を露光装置のフレームに設置する工程と、を含む組み立て工程を実行する。その後、図7に示す如く、計測工程(S101)、抽出工程(S102)、補正工程又は調整工程(S103～S106)、確認工程(S107)を順に実行することにより、優れた光学性能を有する露光装置を製造することができる。

ところで、上述の調整手法は、露光装置の製造方法だけでなく、露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法においても適用可能である。この場合、照明領域規定ユニットであるレチクルブラインド部材RB1, RB2の位置変化に伴うレチクルR上の照明領域の大きさおよび形状の変化に応じて、上述の調整手法を適時実行することもできる。なお、図7に示す調整方法において、ブラインド結像光学系や照明光学系の光学性能をより一層、良好に調整するには、照明光学系及び投影光学系は、後述する条件式(1)を満足することが好ましい。

以上の説明では、試し露光によってブラインド結像光学系100の光学特性を

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20  
25

計測しているが、図1に示すように、プレートステージP S上に、ピンホール等を有する光電センサーからなる光電検出装置50を配置し、ピンホールを走査させながら、受光光量の変化に基づいてレチクルブラインド部材R B 1, R B 2の開口部のエッジの位置を検出し、ひいてはブラインド結像光学系100の残存収差を計測しても良い。また、光電検出装置50として、CCD等の二次元撮像素子とリレー光学系を用い、レチクルブラインド部材R B 1, R B 2の開口部のエッジの位置を直接的に画像処理検出し、ブラインド結像光学系100の残存収差を計測しても良い。

さらに、レチクルブラインド部材R B 1, R B 2がデフォーカスしていることを考慮すると、ピンホールに代えて、走査するCCDに入射する光量の変化に基づいてレチクルブラインド部材R B 1, R B 2の開口部のエッジの位置を検出し、ひいてはブラインド結像光学系100の残存収差を計測しても良い。また、レチクルブラインド部材R B 1, R B 2のピント面を計測することができるよう、予めレチクルブラインド部材R B 1, R B 2にオフセットをもたせて、ブラインド結像光学系100の残存収差をダイレクトに計測しても構わない。なお、以上の説明では、レチクルRと光学的に共役なプレートP上またはプレートPと光学的に共役な面（リレー光学系を介してCCDで受光する場合など）で計測しているが、レチクルRの面で計測を行うこともできる。すなわち、一般的に、レチクルRと同位置やレチクルRと光学的に共役な位置（プレートPの位置を含む）において、計測を行うことができる。

ところで、本実施形態では、ブラインド結像光学系100および投影光学系PLが、次の条件式（1）を満足する。

$$0.01 < NA_1 / (NA_2 \times \beta) < 6 \quad (1)$$

ここで、NA1は、上述したように、ブラインド結像光学系100の物体側（レチクルブラインド側、マスク側と反対側）の最大開口数（本実施形態では0.6）である。また、NA2は、投影光学系PLの像側（プレート側）の最大開口

数である。さらに、 $\beta$ は、上述したように、ブラインド結像光学系 100 の絶対値（本実施形態では 4.44）である。

条件式（1）の値がその上限値および下限値で規定される範囲内であると、照明光学系の一部（ブラインド結像光学系 100 など）を調整することにより、装置を比較的小さく保ちながら良好なる結像性能を十分に引き出すことができるからである。なお、さらに良好な効果を発揮するためには、条件式（1）の上限値を 4 に設定することがさらに好ましい。以下、上述のブラインド結像光学系 100 との組み合わせにおいて条件式（1）を満たす投影光学系 PL の具体的な構成例について説明する。

図 8 は、第 1 の構成例にしたがう投影光学系のレンズ構成を示す図である。第 1 の構成例にしたがう投影光学系 PL は、両側にテレセントリックな光学系である。そして、投影光学系 PL は、物体側（レチクル R 側）から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G1 と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群 G2 と、正の屈折力を有する第 3 レンズ群 G3 と、負の屈折力を有する第 4 レンズ群 G4 と、正の屈折力を有する第 5 レンズ群 G5 とから構成されている。

具体的には、第 1 レンズ群 G1 は、物体側から順に、物体側に平面を向けた平凹レンズ L11 と、両凸レンズ L12 と、両凸レンズ L13 と、両凸レンズ L14 と、両凸レンズ L15 とから構成されている。また、第 2 レンズ群 G2 は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L21 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L22 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L23 と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L24 と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L25 とから構成されている。さらに、第 3 レンズ群 G3 は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L31 と、両凸レンズ L32 と、両凸レンズ L33 と、両凸レンズ L34 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L35 とから構成されている。

また、第 4 レンズ群 G4 は、物体側から順に、両凹レンズ L41 と、両凹レン

5

10

15

20

25

ズL 4 2と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 4 3とから構成されている。さらに、第5レンズ群G 5は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 1と、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 2と、両凸レンズL 5 3と、両凸レンズL 5 4と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 5 5と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 5 6と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 5 7と、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 8と、両凹レンズL 5 9と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 5 10とから構成されている。

次の(表2)に、第1の構成例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

(表2)の{主要諸元}において、NA2は投影光学系PLの像側(プレートP側)の最大開口数を示している。また、(表2)の{レンズ諸元}において、第1カラムの面番号は物体側からの各面の順序を、第2カラムのrは各面の曲率半径(mm)を、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、第4カラムのnはKrFエキシマレーザー光( $\lambda = 248 \text{ nm}$ )に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、第1の構成例では、投影光学系PLを構成するすべての光学部材が同じ屈折率を有する合成石英から形成されている。

(表2)

{主要諸元}

NA2 = 0.3

{レンズ諸元}

	r	d	n	
	(レチクル面)	100.54099		
1	$\infty$	23.49989	1.508389	(L11)
2	327.21806	16.60623		
3	745.99255	24.29147	1.508389	(L12)

4	-792.67400	1.00000			
5	477.75742	25.30887	1.508389	(L13)	
6	-1067.61000	1.00000			
7	397.56382	26.07925	1.508389	(L14)	
5	8	-1506.22800	1.00000		
	9	308.67554	27.77416	1.508389	(L15)
	10	-1711.86500	1.00000		
	11	255.43901	19.44571	1.508389	(L21)
	12	134.49939	21.21029		
10	13	392.48722	17.71194	1.508389	(L22)
10	14	166.81409	21.72514		
10	15	2316.17366	17.02197	1.508389	(L23)
10	16	257.82570	58.86230		
10	17	-127.30481	18.70569	1.508389	(L24)
15	18	-2339.58700	12.42892		
15	19	-327.18173	20.59271	1.508389	(L25)
15	20	-620.90663	37.00065		
	21	-1533.81200	30.36053	1.508389	(L31)
	22	-212.87813	1.00000		
20	23	1152.51610	29.21679	1.508389	(L32)
	24	-347.77220	1.00000		
	25	366.50812	29.12826	1.508389	(L33)
	26	-816.19208	1.00000		
	27	289.18973	25.66665	1.508389	(L34)
25	28	-3215.23700	1.02318		
	29	221.16412	29.15903	1.508389	(L35)

30	362.33564	13.19690		
31	-1429.49800	16.90899	1.508389	(L41)
32	128.70362	25.44667		
33	-171.40580	13.89425	1.508389	(L42)
5	34	241.11901	49.13964	
	35	-150.49549	16.58890	1.508389
	36	-4555.02600	13.58757	(L43)
	37	-254.20194	24.13589	1.508389
	38	-200.61407	1.00000	(L51)
10	39	-3182.49700	22.23957	1.508389
	40	-292.36148	1.00000	(L52)
	41	2596.31870	32.65875	1.508389
	42	-225.72431	1.00000	(L53)
	43	228.47592	37.12921	1.508389
15	44	-1062.27300	10.36255	(L54)
	45	-480.45072	24.00219	1.508389
	46	-3004.94500	1.00000	(L55)
	47	269.60675	22.95075	1.508389
	48	773.94795	1.00000	(L56)
20	49	318.85934	22.48602	1.508389
	50	462.73199	74.40343	(L57)
	51	-786.03086	16.99427	1.508389
	52	-365.94219	52.49696	(L58)
	53	-149.65954	12.21313	1.508389
25	54	459.79301	5.3236 4	(L59)
	55	99.59299	18.48013	1.508389
				(L510)

56 794.31006 30.00000

(プレート面)

{条件式対応値}

5 NA 1 = 0. 6

 $\beta = 4. 4 4$ 

NA 2 = 0. 3

(1)  $NA 1 / (NA 2 \times \beta) = 0. 4 5$ 10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25

図 9 A は第 1 の構成例にかかる投影光学系の球面収差、図 9 B は非点収差、図 9 C は歪曲収差、図 9 D は横収差、をそれぞれ示す図である。なお、図 9 A において、NA は上記 NA 2、つまり像側の最大開口数を示している。図 9 B ~ 図 9 D において、Y は像高 (mm) を示している。また、図 9 B の非点収差図において、破線 M はメリジオナル像面を表わし、実線 S はサジタル像面を表わしている。第 1 の構成例にしたがう投影光学系 PL は、各収差図より明らかなように、優れた結像性能を有する。

図 10 は、第 2 の構成例にしたがう投影光学系のレンズ構成を示す図である。第 2 の構成例にしたがう投影光学系 PL は、開口絞り S に関して対称に構成されている。具体的には、投影光学系 PL は、物体側 (レチクル R 側) から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6 1 と、両凸レンズ L 6 2 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 6 3 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 6 4 と、両凹レンズ L 6 5 と、開口絞り S と、両凹レンズ L 6 6 と、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6 7 と、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6 8 と、両凸レンズ L 6 9 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 6 10 とから構成されている。

次の (表 3) に、第 2 の構成例にかかる投影光学系 PL の諸元の値を掲げる。

(表3) の {主要諸元} において、NA 2は投影光学系PLの像側 (プレートP側) の最大開口数を示している。また、(表3) の {レンズ諸元} において、第1カラムの面番号は物体面からの各面の順序を、第2カラムのrは各面の曲率半径を、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔を、第4カラムのnはK  
5 r Fエキシマレーザー光 ( $\lambda = 248.4 \text{ nm}$ ) に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、第2の構成例では、投影光学系PLを構成するすべての光学部材が同じ屈折率を有する溶融石英から形成されている。

(表3)

## {主要諸元}

NA 2 = 0.18

## {レンズ諸元}

	r (レチクル面)	d	n	
10	1 -621.447	6.800	1.50832	(L61)
15	2 -123.233	0.680		
	3 142.712	12.000	1.50832	(L62)
	4 -202.829	8.370		
	5 115.747	8.490	1.50832	(L63)
20	6 609.474	0.500		
	7 70.825	9.660	1.50832	(L64)
	8 132.376	31.158		
	9 -3051.500	12.000	1.50832	(L65)
	10 31.279	4.565		
25	11 $\infty$	4.565	(開口絞りS)	
	12 -31.279	12.000	1.50832	(L66)

13	3051.500	31.158		
14	-132.376	9.660	1.50832	(L67)
15	-70.825	0.500		
16	-609.474	8.490	1.50832	(L68)
5	17	-115.747	8.370	
	18	202.829	12.000	1.50832 (L69)
	19	-142.712	0.680	
	20	123.233	6.800	1.50832 (L610)
	21	621.447	125.000	

□ 10 (プレート面)  
 □ 11  
 □ 12  
 □ 13  
 □ 14  
 □ 15  
 □ 16  
 □ 17  
 □ 18  
 □ 19  
 □ 20  
 □ 21  
 □ 22  
 □ 23  
 □ 24  
 □ 25

## {条件式対応値}

NA 1 = 0. 6

 $\beta = 4. 44$ 

NA 2 = 0. 18

(1)  $NA 1 / (NA 2 \times \beta) = 0. 75$

図 1 1 は、第 3 の構成例にしたがう投影光学系のレンズ構成を示す図である。

第 3 の構成例にしたがう投影光学系 P L は、第 2 の構成例と同様に、開口絞り S に関する対称に構成されている。具体的には、投影光学系 P L は、物体側 (レチクル R 側) から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 7 1 と、両凸レンズ L 7 2 と、両凸レンズ L 7 3 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 7 4 と、両凹レンズ L 7 5 と、開口絞り S と、両凹レンズ L 7 6 と、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 7 7 と、両凸レンズ L 7 8 と、両凸レンズ L 7 9 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 7 1 0 とから構成されている。

次の（表4）に、第3の構成例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

（表4）の {主要諸元} において、NA2は投影光学系PLの像側（プレートP側）の最大開口数を示している。また、（表4）の {レンズ諸元} において、第1カラムの面番号は物体面からの各面の順序を、第2カラムのrは各面の曲率半径を、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔を、第4カラムのnはKrFエキシマレーザー光 ( $\lambda = 248.4 \text{ nm}$ ) に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、第3の構成例において第2の構成例と同様に、投影光学系PLを構成するすべての光学部材が同じ屈折率を有する溶融石英から形成されている。

（表4）

□ 10  
○ 15  
△ 20  
× 25

{主要諸元}  
NA2 = 0.18

{レンズ諸元}

	r	d	n	
15	(レチクル面)	125.000		
1	-607.544	6.000	1.50832	(L71)
2	-122.166	0.500		
3	359.370	11.752	1.5083	(L72)
4	-267.589	3.400		
20	5	105.008	14.000	1.50832 (L73)
	6	-351.306	0.500	
	7	73.423	6.469	1.50832 (L74)
	8	147.734	35.243	
	9	-532.703	13.874	1.50832 (L75)
25	10	32.569	4.500	
	11	$\infty$	4.500	(開口絞りS)

12	-32.569	13.874	1.50832	(L76)
13	532.703	35.243		
14	-147.734	6.469	1.50832	(L77)
15	-73.423	0.500		
5	16	351.306	14.000	1.50832 (L78)
	17	-105.008	3.400	
	18	267.589	11.752	1.50832 (L79)
	19	-359.370	0.500	
	20	122.166	6.000	1.50832 (L710)
10	21	607.544	125.000	

(プレート面)

{条件式対応値}

NA 1 = 0. 6

$\beta = 4. 44$

NA 2 = 0. 18

$$(1) \quad NA 1 / (NA 2 \times \beta) = 0. 75$$

以上、上述の実施形態では、感光性基板（プレートP）上にマスク（レチクルR）の転写用パターンを重複露光（オーバーラップ露光）する露光装置に関連して本発明を説明した。しかしながら、前述したように、図5を参照して説明した露光装置内のブラインド結像光学系の調整方法（又は露光装置の製造時におけるブラインド結像光学系の調整方法）、及び、図7を参照して説明した露光装置の製造方法における調整（計測工程、補正工程など）は、オーバーラップ露光方式の露光装置に限定されることなく、通常の露光方式の露光装置にも適用可能である。同様に、上述の実施形態に関連して説明した本発明の他のすべての観点、た

とえば結像光学系の光学特性の調整、その調整に伴う他の光学特性の悪化の調整、条件式（1）による規定なども、オーバーラップ露光方式の露光装置に限定されることなく、通常の露光方式の露光装置にも適用可能である。特に、マスク上において照明領域規定ユニットの開口エッジの像の直線性および方向性が確保される点は、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式の露光装置において良好な露光を行う上で有利である。以下、上述の実施形態の変形例として、オーバーラップ露光を行わない通常露光方式の露光装置について説明する。

図12は、本実施形態の第1変形例にかかる通常露光方式の露光装置の構成を概略的に示す図である。図12において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図12の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図12の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。なお、図12では、照明光学装置が輪帯照明を行うように設定されている。

図12の露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、たとえば248 nm (KrF) または193 nm (ArF) の波長の光を供給するエキシマレーザー光源を備えている。光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行光束は、X方向に沿って細長く伸びた矩形状の断面を有し、一対のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図12の紙面内（YZ平面内）において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダー2に入射した光束は、図12の紙面内において拡大され、所定の矩形状の断面を有する光束に整形される。

整形光学系としてのビームエキスパンダー2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、輪帯照明用の回折光学素子（DOE）4aに入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、輪帯照明用の回折光学素子4aは、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合、そのファーフィールド（または

10  
15  
20

25

フラウンホーファー回折領域)に、リング状の光強度分布を形成する機能を有する。

なお、回折光学素子4aは、照明光路に対して挿脱自在に構成され、4極照明用の回折光学素子4bや通常の円形照明用の回折光学素子4cと切り換え可能に構成されている。4極照明用の回折光学素子4bおよび円形照明用の回折光学素子4cの構成および作用については後述する。ここで、輪帶照明用の回折光学素子4aと4極照明用の回折光学素子4bと円形照明用の回折光学素子4cとの間の切り換えは、制御系71からの指令に基づいて動作する第1駆動系72により行われる。また、制御系71には、ステップ・アンド・リピート方式またはステップ・アンド・スキャン方式にしたがって順次露光すべき各種のマスクに関する情報などがキーボードなどの入力手段70を介して入力される。

回折光学素子4aを介した光束は、後で詳述する輪帶比可変用のアフォーカルズームレンズ(変倍リレー光学系)5に入射する。アフォーカルズームレンズ5は、回折光学素子4aと後述するマイクロレンズアレイ(マイクロフライアイレンズ)6の入射面とを光学的にほぼ共役な関係に維持し、且つアフォーカル系(無焦点光学系)を維持しながら、所定の範囲で倍率を連続的に変化させることができるように構成されている。ここで、アフォーカルズームレンズ5の倍率変化は、制御系71からの指令に基づいて動作する第2駆動系73により行われる。

こうして、回折光学素子4aを介した光束は、アフォーカルズームレンズ5の瞳面にリング状の光強度分布を形成する。このリング状の光強度分布からの光は、ほぼ平行光束となってアフォーカルズームレンズ5から射出され、マイクロレンズアレイ6に入射する。このとき、マイクロレンズアレイ6の入射面には、光軸AXに対してほぼ対称に斜め方向から光束が入射する。なお、輪帶比可変用のズームレンズ(変倍光学系)5による変倍作用によりマイクロレンズアレイ6に斜め方向から入射する光束の入射角が変化し、後述する輪帶形状等の2次光源(照明光学系の瞳に形成される輪帶状等の光強度分布)の輪帶比が変化する。マイク

10  
11  
12  
13  
14  
15

20

25

ロレンズアレイ 6 は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正六角形状の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロレンズアレイは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

5 ここで、マイクロレンズアレイを構成する各微小レンズは、フライアイ・インテグレーター（フライアイレンズ）を構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロレンズアレイは、互いに隔離されたレンズエレメントからなるフライアイ・インテグレーターとは異なり、多数の微小レンズが互いに隔離されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロレンズアレイはフライアイ・インテグレーターと同じである。なお、図 1.2 では、図面の明瞭化のために、マイクロレンズアレイ 6 を構成する微小レンズの数を実際よりも非常に少なく表示している。

したがって、マイクロレンズアレイ 6 に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、各微小レンズの後側焦点面にはそれぞれ 1 つのリング状の光源（集光点）が形成される。マイクロレンズアレイ 6 の後側焦点面に形成された多数の光源からの光束は、 $\sigma$  値可変用のズームレンズ（変倍光学系）7 を介して、オプティカルインテグレータとしてのフライアイ・インテグレーター 8 を重畳的に照明する。なお、 $\sigma$  値とは、前述したように、投影光学系 PL の瞳の大きさ（直径）を R 1 とし、投影光学系 PL の瞳に形成される照明光束または光源像の大きさ（直径）を R 2 とし、投影光学系 PL のマスク（レチクル）M 側の開口数を N A o とし、マスク（レチクル）M を照明する照明光学系の開口数を N A i とするとき、 $\sigma = N A i / N A o = R 2 / R 1$  として定義される。

また、ズームレンズ 7 は、所定の範囲で焦点距離を連続的に変化させることのできるリレー光学系であって、マイクロレンズアレイ 6 の後側焦点面とフライアイ・インテグレーター 8 の後側焦点面とを光学的にほぼ共役に結んでいる。換

10  
11  
12  
13  
14  
15

20

25

言すると、ズームレンズ7は、マイクロレンズアレイ6の後側焦点面とフライアイ・インテグレーター8の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に結んでいる。

したがって、マイクロレンズアレイ6の後側焦点面に形成された多数のリング状の光源からの光束は、ズームレンズ7の後側焦点面（ひいてはフライアイ・インテグレーター8の入射面）に、リングと正六角形とのコンポリューションに基づく光強度分布、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の照野を形成する。この輪帯状の照野の大きさは、ズームレンズ7の焦点距離に依存して変化する。なお、ズームレンズ7の焦点距離の変化は、制御系71からの指令に基づいて動作する第3駆動系74により行われる。

フライアイ・インテグレーター8は、上述の実施形態におけるフライアイ・インテグレーター27に対応する光学部材であり、正の屈折力を有する多数のレンズエレメントを縦横に且つ稠密に配列することによって構成されている。なお、フライアイ・インテグレーター8を構成する各レンズエレメントは、マスク上において形成すべき照野の形状（ひいてはウェハ上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形状の断面を有する。また、フライアイ・インテグレーター8を構成する各レンズエレメントの入射側の面は入射側に凸面を向けた球面状に形成され、射出側の面は射出側に凸面を向けた球面状に形成されている。

したがって、フライアイ・インテグレーター8に入射した光束は多数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、光束が入射した各レンズエレメントの後側焦点面には多数の光源がそれぞれ形成される。こうして、フライアイ・インテグレーター8の後側焦点面（ひいては照明光学系の瞳面）には、フライアイ・インテグレーター8への入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する輪帯状の実質的な面光源（以下、「二次光源」という）が形成される。フライアイ・インテグレーター8の後側焦点面に形成された輪帯状の二次光源からの光束は、その近傍に配置された開口絞り9に入射する。

10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25

開口絞り 9 は、光軸 A X に平行な所定の軸線回りに回転可能なターレット基板（回転版：図 1 2 では不図示）上に支持されている。ターレット基板には、形状（輪帶比）や大きさ（外径）の異なる輪帶状の開口部（光透過部）を有する複数の輪帶開口絞り、形状（輪帶比）や大きさ（外径）の異なる 4 極状の開口部を有する複数の 4 極開口絞り、および大きさ（外径）の異なる円形状の開口部を有する複数の円形開口絞りが円周方向に沿って設けられている。また、ターレット基板は、その中心点を通り光軸 A X に平行な軸線回りに回転可能に構成されている。したがって、ターレット基板を回転させることにより、多数の開口絞りから選択された 1 つの開口絞りを照明光路中に位置決めすることができる。なお、ターレット基板の回転は、制御系 7 1 からの指令に基づいて動作する第 4 駆動系 7 5 により行われる。

図 1 2 では、フライアイ・インテグレーター 8 の後側焦点面に輪帶状の二次光源が形成されるので、開口絞り 9 として複数の輪帶開口絞りから選択された 1 つの輪帶開口絞りが用いられている。ただし、ターレット方式の開口絞りに限定されることなく、たとえばスライド方式の開口絞りを採用してもよいし、光透過領域の大きさおよび形状を適宜変更することの可能な開口絞りを照明光路内に固定的に取り付けてもよい。さらに、複数の円形開口絞りに代えて、円形開口口径を連続的に変化させることのできる虹彩絞りを設けることもできる。

輪帶状の開口部（光透過部）を有する開口絞り 9 を介した二次光源からの光は、20 コンデンサー光学系 1 0 の集光作用を受けた後、照明視野絞りとしてのマスクブラインド 1 1 を重畳的に照明する。マスクブラインド 1 1 は、照明領域規定ユニットの一例である。マスクブラインド 1 1 の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、結像光学系 1 2 の集光作用を受けた後、マスク M を重畳的に照明する。ここで、結像光学系 1 2 は、上述の実施形態におけるブラインド結像光学系 1 0 25 0 と同様の構成および機能を有する。マスク M のパターンを透過した光束は、投影光学系 P L を介して、感光性基板であるウェハ W 上にマスクパターンの像を形

成する。

なお、マスクMは、投影光学系PLの光軸AXに対して垂直な平面（XY平面）内において二次元的に移動可能なマスクステージMS上に載置されている。矢印Aで示す方向は、マスクMのスキャン方向であり、Y軸の正方向と同じ方向である。図13及び図14の矢印Aで示す方向もこれと同じ意味である。一方、ウェハWは、投影光学系PLの光軸AXに対して垂直な平面（XY平面）内において二次元的に移動可能なウェハステージWS上に載置されている。矢印Bで示す方向は、ウェハWのスキャン方向であり、Y軸の負方向と同じ方向である。図13及び図14の矢印Aで示す方向もこれと同じ意味である。制御系71は、各ステージ（RS、WS）からの位置信号（各ステージ内に取付けられた干渉計等の位置検出装置の位置情報）に基づいて、各ステージ（RS、WS）内に取付けられた駆動系を駆動制御している。こうして、XY平面内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。投影光学系PLの入射瞳面には投影光学系PLの開口数を規定するための可変開口絞りが設けられ、この可変開口絞りの駆動は制御系71からの指令に基づいて動作する第5駆動系76により行われる。

なお、一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウェハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスクM上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、フライアイ・インテグレーター8の各レンズエレメントの断面形状も正方形に近い矩形状となる。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウェハを投影光学系に対して、図12の矢印で示すY方向（スキャン方向）に沿って、相対移動させながらウェハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。

この場合、マスクM上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば1：

10  
11  
12  
13  
14  
15

20

25

3の矩形状であり、フライアイ・インテグレーター8の各レンズエレメントの断面形状もこれと相似な矩形状となる。すなわち、スキャン露光では、オプティカルインテグレータとしてのフライアイ・インテグレーター8を構成する多数のレンズエレメント（光学素子）の断面形状における短辺方向と光学的に対応する方向（走査方向）に沿って、マスクMおよびウェハWを投影光学系P Lに対して相対移動させる。ここで、断面とは光軸と垂直な断面を意味する。なお、以上にて説明したスキャン露光（走査露光）のための構成及び動作は、後述する図13に示す例においても同様である。

第1変形例では、アフォーカルズームレンズ5の倍率が変化すると、輪帯状の二次光源は、その幅（外径と内径との差の1/2）が変化することなく、その外径および内径がともに変化する。換言すると、輪帯状の二次光源は、アフォーカルズームレンズ5の作用により、その幅が変化することなく、その輪帯比および大きさ（外径）がともに変化する。一方、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、輪帯状の二次光源の全体形状が相似的に変化する。換言すると、輪帯状の二次光源は、ズームレンズ7の作用により、その輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ（外径）がともに変化する。

次に、回折光学素子4 aに代えて4極照明用の回折光学素子4 bを照明光路中に設定することによって得られる4極照明について簡単に説明する。4極照明用の回折光学素子4 bは、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合、そのアーフィールド（またはフラウンホーファー回折領域）に、4点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子4 bを介した光束は、アフォーカルズームレンズ5の瞳面に4点状の光強度分布を形成する。この4点状の光強度分布からの光は、ほぼ平行光束となってアフォーカルズームレンズ5から射出され、マイクロレンズアレイ6に入射する。

こうして、マイクロレンズアレイ6およびズームレンズ7を介した光束は、フライアイ・インテグレーター8の入射面に、4点と正六角形とのコンボリューション

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

ヨンに基づく光強度分布、すなわち光軸AXに対して偏心した4つの正六角形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、ライアイ・インテグレーター8の後側焦点面（ひいては照明光学系の瞳面）には、入射面に形成された照野とほぼ同じ光強度を有する二次光源、すなわち光軸AXに対して偏心した4つの正六角形状の面光源からなる4極状の二次光源が形成される。なお、回折光学素子4aから回折光学素子4bへの切り換えに対応して、輪帶開口絞り9から4極開口絞りへの切り換えが行われる。

ところで、4極状の二次光源の場合も、輪帶状の二次光源と同様に、その外径（大きさ）および輪帶比（形状）を定義することができる。すなわち、4極状の二次光源の外径は、4つの面光源に外接する円の直径である。また、4極状の二次光源の輪帶比は、4つの面光源に外接する円の直径すなわち外径に対する、4つの面光源に内接する円の直径すなわち内径の比（内径／外径）である。一般に、4極照明等の多極照明の場合も、 $\sigma = N A_i / N A_o = R_2 / R_1$ として定義される。ここで、R2は投影光学系PLの瞳に形成される多極状の照明光束または多極状の光源像に外接する円の大きさまたは直径であり、NAiは照明光学系の瞳に形成される多極状の照明光束に外接する円の大きさまたは直径によって定められる開口数である。

こうして、第1変形例の4極照明では、輪帶照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、4極状の二次光源の外径および輪帶比をともに変更することができる。また、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、4極状の二次光源の輪帶比を変更することなくその外径を変更することができる。

なお、輪帶比可変用のズームレンズ（変倍光学系）5と $\sigma$ 可変ズームレンズ7との共働により、輪帶照明及び多極照明において、輪帶幅を一定に保ちながら輪帶比を変化させたり、輪帶比を一定に保ちながら輪帶幅を変化させたり、さらには、輪帶比及び輪帶幅を積極的に変化させることも可能であることは言うまで

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

もない。但し、輪帯幅とは、 $\{(輪帯光の外径又は輪帯状の2次光源の外径) - (輪帯光の内径又は輪帯状の2次光源の内径)\} / 2$ 、又は、 $\{(多極光に外接する円の直径又は多極状の2次光源に外接する円の直径) - (多極光に内接する円の直径又は多極状の2次光源に内接する円の直径)\} / 2$ 等で定義される。

5 次いで、回折光学素子4aまたは4bに代えて円形照明用の回折光学素子4cを照明光路中に設定することによって得られる通常の円形照明について説明する。円形照明用の回折光学素子4cは、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合、そのファーフィールド（またはフラウンホーファー回折領域）に、円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子4cを介した光束は、アフォーカルズームレンズ5の瞳面に円形状の光強度分布を形成する。この円形状の光強度分布からの光は、ほぼ平行光束となってアフォーカルズームレンズ5から射出され、マイクロレンズアレイ6に入射する。

こうして、マイクロレンズアレイ6およびズームレンズ7を介した光束は、フライアイ・インテグレーター8の入射面に、円と正六角形とのコンボリューションに基づく光強度分布、すなわち円形状の照野を形成する。その結果、フライアイ・インテグレーター8の後側焦点面（ひいては照明光学系の瞳面）には、入射面に形成された照野とほぼ同じ光強度を有する二次光源、すなわち円形状の二次光源が形成される。なお、回折光学素子4aまたは4bから回折光学素子4cへの切り換えに対応して、開口絞り9では、輪帯開口部または4極開口部から円形開口部への切り換えが行われる。この場合、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の外径を適宜変更することができる。

以下、第1変形例における照明条件の切り換え動作などについて具体的に説明する。まず、ステップ・アンド・リピート方式またはステップ・アンド・スキャン方式にしたがって順次露光すべき各種のマスクに関する情報などが、キーボードなどの入力手段70を介して制御系71に入力される。制御系71は、各種のマスクに関する最適な線幅（解像度）、焦点深度等の情報を内部のメモリ一部に

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

記憶しており、入力手段 7 0 からの入力に応答して第 1 駆動系 7 2 ～第 5 駆動系 7 6 に適当な制御信号を供給する。

すなわち、最適な解像度および焦点深度のもとで輪帶照明する場合、第 1 駆動系 7 2 は、制御系 7 1 からの指令に基づいて、輪帶照明用の回折光学素子 4 a を照明光路中に位置決めする。そして、所望の大きさ（外径）および形状（輪帶比）を有する輪帶状の二次光源を得るために、第 2 駆動系 7 3 は制御系 7 1 からの指令に基づいてアフォーカルズームレンズ 5 の倍率を設定し、第 3 駆動系 7 4 は制御系 7 1 からの指令に基づいてズームレンズ 7 の焦点距離を設定する。また、光量損失を良好に抑えた状態で輪帶状の二次光源を制限するために、第 4 駆動系 7 5 は制御系 7 1 からの指令に基づいてターレットを回転させ、所望の輪帶開口絞りを照明光路中に位置決めする。さらに、第 5 駆動系 7 6 は、制御系 7 1 からの指令に基づいて、投影光学系 P L の可変開口絞りを駆動する。

さらに、必要に応じて、第 2 駆動系 7 3 によりアフォーカルズームレンズ 5 の倍率を変化させたり、第 3 駆動系 7 4 によりズームレンズ 7 の焦点距離を変化させたりすることにより、輪帶状の二次光源の大きさおよび輪帶比を適宜変更することができる。この場合、輪帶状の二次光源の大きさおよび輪帶比の変化に応じてターレットが回転し、所望の大きさおよび輪帶比を有する輪帶開口絞りが選択されて照明光路中に位置決めされる。こうして、輪帶状の二次光源の形成およびその制限においてほとんど光量損失することなく、輪帶状の二次光源の大きさおよび輪帶比を適宜変化させて多様な輪帶照明を行うことができる。

また、最適な解像度および焦点深度のもとで 4 極照明する場合、第 1 駆動系 7 2 は、制御系 7 1 からの指令に基づいて、4 極照明用の回折光学素子 4 b を照明光路中に位置決めする。そして、所望の大きさ（外径）および形状（輪帶比）を有する 4 極状の二次光源を得るために、第 2 駆動系 7 3 は制御系 7 1 からの指令に基づいてアフォーカルズームレンズ 5 の倍率を設定し、第 3 駆動系 7 4 は制御系 7 1 からの指令に基づいてズームレンズ 7 の焦点距離を設定する。また、光量

10  
11  
12  
13  
14  
15

20

25

損失を良好に抑えた状態で4極状の二次光源を制限するために、第4駆動系75は制御系71からの指令に基づいてターレットを回転させ、所望の4極開口絞りを照明光路中に位置決めする。さらに、第5駆動系76は、制御系71からの指令に基づいて、投影光学系PLの可変開口絞りを駆動する。

5 さらに、必要に応じて、第2駆動系73によりアフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させたり、第3駆動系74によりズームレンズ7の焦点距離を変化させたりすることにより、4極状の二次光源の大きさおよび輪帶比を適宜変更することができる。この場合、4極状の二次光源の大きさおよび輪帶比の変化に応じてターレットが回転し、所望の大きさおよび輪帶比を有する4極開口絞りが選択されて照明光路中に位置決めされる。こうして、4極状の二次光源の形成およびその制限において光量損失を良好に抑えた状態で、4極状の二次光源の大きさおよび輪帶比を適宜変化させて多様な4極照明を行うことができる。

最後に、最適な解像度および焦点深度のもとで通常の円形照明をする場合、第1駆動系72は、制御系71からの指令に基づいて、円形照明用の回折光学素子4cを照明光路中に位置決めする。そして、所望の大きさ（外径）を有する円形状の二次光源を得るために、第2駆動系73は制御系71からの指令に基づいてアフォーカルズームレンズ5の倍率を設定し、第3駆動系74が制御系71からの指令に基づいてズームレンズ7の焦点距離を設定する。また、光量損失を良好に抑えた状態で円形状の二次光源を制限するために、第4駆動系75は制御系71からの指令に基づいてターレットを回転させ、所望の円形開口絞りを照明光路中に位置決めする。さらに、第5駆動系76は、制御系71からの指令に基づいて、投影光学系PLの可変開口絞りを駆動する。

なお、円形開口径を連続的に変化させることのできる虹彩絞りを用いる場合には、第4駆動系75は制御系71からの指令に基づいて虹彩絞りの開口径を設定する。さらに、必要に応じて、第3駆動系74によりズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の大きさを適宜変更することができ

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

る。この場合、円形状の二次光源の大きさの変化に応じてターレットが回転し、所望の大きさの開口部を有する円形開口絞りが選択されて照明光路中に位置決めされる。こうして、円形状の二次光源の形成およびその制限において光量損失を良好に抑えつつ、 $\sigma$ 値を適宜変化させて多様な円形照明を行うことができる。

10  
15  
20  
25

5 以上のように、第1変形例では、光学回折素子（4a～4c）、アフォーカルズームレンズ5およびズームレンズ7の作用により、照明条件を切り換えること、すなわち照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状を変化させることができる。光学回折素子（4a～4c）、アフォーカルズームレンズ5およびズームレンズ7により、可変ユニットの一例が構成される。また、第1変形例では、結像光学系12および投影光学系PLが前述の条件式（1）を満足するように構成されているので、照明光学系の一部（結像光学系12など）を調整することにより、装置を比較的小さく保ちながら良好なる結像性能を十分に引き出すことができる。

図13は、本実施形態の第2変形例にかかる通常露光方式の露光装置の構成を概略的に示す図である。第2変形例は、第1変形例と類似の構成を有するが、折り曲げミラー3とズームレンズ7との間の構成、およびフライアイ・インテグレーター8に代えてマイクロレンズアレイ8aが用いられていることが第1変形例と基本的に相違している。以下、第1変形例との相違点に着目して、第2変形例を説明する。なお、図13では、照明光学装置が輪帶照明を行うように設定されている。

20 第2変形例では、光源1から射出されたほぼ平行光束が、ビームエキスパンダー2および折り曲げミラー3を介して、輪帶照明用の回折光学素子13aに入射する。回折光学素子13aは、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合、そのファーフィールド（フラウンホーファー回折領域）において輪帶状の光強度分布を形成する機能を有する。輪帶照明用の回折光学素子13aは、照明光路に25 対して挿脱自在に構成され、4極照明用の回折光学素子13bや円形照明用の回折光学素子13cと切り換え可能に構成されている。

回折光学素子 1 3 a を介した光束は、アフォーカルレンズ（リレー光学系）1 4 に入射する。アフォーカルレンズ 1 4 は、その前側焦点位置と回折光学素子 1 4 a の位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面 1 5 の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系（無焦点光学系）である。

5 ここで、所定面 1 5 の位置は、第 1 実施形態においてマイクロレンズアレイ 6 が設置されている位置に対応している。

したがって、回折光学素子 1 3 a に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ 1 4 の瞳面に輪帶状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ 1 4 から射出される。なお、アフォーカルレンズ 1 4 の前側レンズ群 1 4 a と後側レンズ群 1 4 b との間の光路中には、輪帶比を可変とする光学系としての円錐アキシコン系 1 6（以下、単にアキシコンと呼ぶ）が配置されているが、その詳細な構成および作用については後述する。以下、説明を簡単にするために、これらの円錐アキシコン 1 6 の作用を無視して、第 2 変形例の基本的な構成および作用を説明する。

アフォーカルレンズ 1 4 を介した光束は、 $\sigma$  値可変用のズームレンズ（変倍光学系）7 を介して、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイ 8 a に入射する。なお、所定面 1 5 の位置はズームレンズ 7 の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロレンズアレイ 8 a の入射面はズームレンズ 7 の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ 7 は、所定面 1 5 とマイクロレンズアレイ 8 a の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ 1 4 の瞳面とマイクロレンズアレイ 8 a の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。

したがって、第 1 変形例におけるフライアイ・インテグレーター 8 と同様の機能を有するマイクロレンズアレイ 8 a の入射面上には、アフォーカルレンズ 1 4 の瞳面と同様に、たとえば光軸 AX を中心とした輪帶状の照野を形成する。この輪帶状の照野の全体形状は、ズームレンズ 7 の焦点距離に依存して相似的に変化

10  
11  
12  
13  
14  
15

20

25

する。マイクロレンズアレイ 8 a を構成する各微小レンズは、マスク M 上において形成すべき照野の形状（ひいてはウェハ W 上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形状の断面を有する。マイクロレンズアレイ 8 a に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面（ひいては照明光学系の瞳）にはマイクロレンズアレイ 8 a への入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源すなわち輪帯状の二次光源が形成される。

上述したように、第 2 変形例では、アフォーカルレンズ 1 4 の前側レンズ群 1 4 a と後側レンズ群 1 4 b との間の光路中に、円錐アキシコン 1 6 が配置されている。円錐アキシコン 1 6 は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を向けた第 1 プリズム部材 1 6 a と、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第 2 プリズム部材 1 6 b とから構成されている。そして、第 1 プリズム部材 1 6 a の凹円錐状の屈折面と第 2 プリズム部材 1 6 b の凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。

また、第 1 プリズム部材 1 6 a および第 2 プリズム部材 1 6 b のうち少なくとも一方の部材が光軸 A X に沿って移動可能に構成され、第 1 プリズム部材 1 6 a の凹円錐状の屈折面と第 2 プリズム部材 1 6 b の凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。なお、後述するように、円錐アキシコン 1 6 は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、図示を省略した角錐アキシコンと切り換え可能に構成されている。円錐アキシコン 1 6 の間隔の変化、角錐アキシコンの間隔の変化、および円錐アキシコン 1 6 と角錐アキシコンとの切り換えは、制御系 71 からの指令に基づいて動作する駆動系 7 8 により行われる。

ここで、第 1 プリズム部材 1 6 a の凹円錐状屈折面と第 2 プリズム部材 1 6 b の凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン 1 6 は平行平面版として機能し、形成される輪帯の二次光源に及ぼす影響はない。しかしな

TOP SECRET 10 14 15

がら、第1プリズム部材16aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材16bの凸円錐状屈折面とを離間させると、円錐アキシコン16は、いわゆるビームエキスパンダーとして機能する。したがって、円錐アキシコン16の間隔の変化に伴って、所定面15への入射光束の角度は変化する。

5 こうして、第2変形例の輪帶照明では、円錐アキシコン16の間隔を変化させると、輪帶状の二次光源の幅（外径と内径との差1/2）が変化することなく、その外径および内径がともに変化する。換言すると、輪帶状の二次光源は、円錐アキシコン16の作用により、その幅が変化することなく、その輪帶比および大きさ（外径）がともに変化する。一方、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、輪帶状の二次光源の全体形状が相似的に変化する。換言すると、輪帶状の二次光源は、ズームレンズ7の作用により、その輪帶比が変化することなく、その幅および大きさ（外径）がともに変化する。

次に、輪帶照明用の回折光学素子13aに代えて4極照明用の回折光学素子13bを照明光路中に設定することによって得られる4極照明について簡単に説明する。この場合、回折光学素子13bに入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ14の瞳面に4極状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ14から射出される。アフォーカルレンズ14を介した光束は、ズームレンズ7を介して、マイクロレンズアレイ8aの入射面に、光軸AXに対して偏心した4つの照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイクロレンズアレイ8aの後側焦点面（ひいては照明光学系の瞳面）には、その入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXに対して偏心した4つの実質的な面光源からなる4極状の二次光源が形成される。

25 なお、第2変形例の4極照明では、円錐アキシコン16に代えて、角錐アキシコンを照明光路中に設定する。ここで、角錐アキシコンは円錐アキシコン16と類似の形状を有するが、円錐アキシコン16では一对の屈折面が円錐状に形成さ

れているのに対し、角錐アキシコンでは一对の屈折面が四角錐状に形成されている。すなわち、角錐アキシコンの屈折面は、光軸AXに関して対称な正四角錐の角錐面（底面を除く側面）に相当し、2つの屈折面が互いにほぼ平行になるように構成されている。

5 したがって、第2変形例の4極照明において角錐アキシコンの間隔を変化させると、4極状の二次光源を構成する4つの面光源の形状および大きさが変化することなく、その中心位置が光軸AXを中心とする円の径方向に沿って移動する。換言すると、4極状の二次光源は、角錐アキシコンの作用により、その幅が変化することなく、その輪帯比および大きさ（外径）がともに変化する。一方、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、4極状の二次光源の全体形状が相似的に変化する。換言すると、4極状の二次光源は、ズームレンズ7の作用により、その輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ（外径）がともに変化する。

さらに、輪帯照明用の回折光学素子13aまたは4極照明用の回折光学素子13bに代えて円形照明用の回折光学素子13cを照明光路中に設定することによって得られる通常の円形照明について簡単に説明する。この場合、回折光学素子13cに入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ14の瞳面に円形状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ14から射出される。アフォーカルレンズ14を介した光束は、ズームレンズ7を介して、マイクロレンズアレイ8aの入射面に、たとえば光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。

その結果、マイクロレンズアレイ8aの後側焦点面（すなわち照明光学系の瞳）には、その入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源すなわち円形状の二次光源が形成される。第2変形例の円形照明では、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、その全体形状が相似的に変化する。換言すると、第2変形例の円形照明では、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の大きさ（外径）を変更することができる。

□ 10  
□ 11  
□ 12  
□ 13  
□ 14  
□ 15

20

25

ところで、図12及び図13に示す各例では、ウェハステージWSの一端に設置された光電検出装置50からの検出信号が制御系71に入力され、これにより、照明光学系及び投影光学系の双方を含む露光光学系、照明光学系、あるいは結像光学系12に関する光学特性（収差や照明特性等）が計測される。制御系71は、  
 5 光電検出装置50を介して計測された測定結果に基づいて、第6駆動系77へ制御信号を出し、第6駆動系77を介して結像光学系12を構成する1部の光学部材を移動（光軸回りに回転、光軸方向への移動、光軸と直交した方向への移動あるいは傾斜等）させる。これにより、照明光学系の照明特性が調整される。図12及び図13に示す例においても、結像光学系12は（表1）にレンズデータに示す光学系を用い、投影光学系PLは、（表2）乃至（表4）のレンズデータに示す光学系を用いることができ、この場合、上記条件式（1）を満足することが好ましい。

また、図12及び図13に示す例での結像光学系12や露光装置に関しても、図5を参照して説明した露光装置内のブラインド結像光学系の調整方法（又は露光装置の製造時におけるブラインド結像光学系の調整方法）、及び図7を参照して説明した露光装置の製造における調整方法を適用することが好ましく、この場合にも上記条件式（1）を満足することがより望ましい。

図14は、本実施形態の第3変形例にかかる通常露光方式の露光装置の要部構成を概略的に示す図である。第3変形例は、第1変形例および第2変形例と類似の構成を有する。しかしながら、第1変形例および第2変形例ではオプティカルインテグレータとして波面分割型のフライアイ・インテグレーター8またはマイクロレンズアレイ8aを用いているが、第3変形例では、オプティカルインテグレータとして内面反射型のロッド型オプティカルインテグレータ80を用いていることが基本的に相違している。なお、図14では、第1変形例および第2変形例のズームレンズ7よりも光源側の要素および駆動制御関係の要素などの図示を省略している。以下、第1変形例および第2変形例との相違点に着目して第3変

形例を説明する。

第3変形例では、フライアイ・インテグレーター8またはマイクロレンズアレイ8aに代えてロッド型インテグレーター80を用いることに対応して、ズームレンズ7とロッド型インテグレーター80との間の光路中にコンデンサーレンズ81を付設し、コンデンサー光学系10を取り除いている。ここで、ズームレンズ7とコンデンサーレンズ81とからなる合成光学系は、第1変形例におけるマイクロレンズアレイ6の後側焦点面または第2変形例における所定面15とロッド型インテグレーター80の入射面とを光学的にはほぼ共役に結んでいる。

ロッド型インテグレーター80は、石英ガラスや萤石のような硝子材料からなる内面反射型のガラスロッドであり、内部と外部との境界面すなわち内面での全反射を利用して集光点を通りロッド入射面に平行な面に沿って内面反射数に応じた数の光源像を形成する。ここで、形成される光源像のほとんどは虚像であるが、中心（集光点）の光源像のみが実像となる。すなわち、ロッド型インテグレーター80に入射した光束は、内面反射により角度方向により分割され、集光点を通りその入射面に平行な面に沿って多数の光源像からなる二次光源が形成される。

ロッド型インテグレーター80によりその入射側に形成された二次光源からの光束は、その射出面において重畳された後、結像光学系12を介して所定のパターンが形成されたマスクMを照明する。したがって、マスクM上には、ロッド型インテグレーター80の断面形状と相似な矩形状（短辺と長辺との比がたとえば1:3の矩形状）の照野が形成される。第3変形例におけるスキャン露光では、オプティカルインテグレーターとしてのロッド型インテグレーター80の断面形状における短辺方向（Z方向）と光学的に対応する走査方向（Y方向）に沿って、マスクM及びウェハWを投影光学系PLに対して相対移動させる。

ところで、図12～図13に示す各例では、多極照明の一つとしての4極照明するため、4極光束形成用の回折光学素子（4b、13b）を照明光路内に設定することを述べたが、4極光束形成用の回折光学素子（4b、13b）の代

わりに、例えば、2極光束形成用の回折光学素子を設定すれば、2極照明することができる。すなわち、Nを2以上の整数とするとき、N極光束形成用の回折光学素子（多極光束形成用の回折光学素子）を照明光路内に設定すれば、N極照明（多極照明）することができる。

5 また、以上の図12に示す例では、回折光学素子（4a、4b、4c）、輪帶比可変用のズームレンズ（変倍光学系）5及びφ可変ズームレンズ7との共働により、照明光学系に瞳での照明光の大きさと形状との少なくとも一つを可変しているが、この可変に伴い変化するブラインド結像光学系12をはじめとする照明光学系の光学特性の変化（悪化）を調整（補正）するために、ブラインド結像光学系12を構成する多数の光学部材のうち少なくとも一つを調整（移動、傾斜、シフト）させることが好ましい。この場合、照明光学系内のブラインド結像光学系12以外の光学系を調整しても良いことは言うまでもない。

10 また、以上の図13に示す例では、回折光学素子（13a、13b、13c）、輪帶比可変用の光学系14及びφ可変ズームレンズ7との共働により、照明光学系の瞳での照明光の大きさと形状との少なくとも一つを可変しているが、この可変に伴い変化するブラインド結像光学系12をはじめとする照明光学系の光学特性の変化（悪化）を調整（補正）するために、ブラインド結像光学系12を構成する多数の光学部材のうちの少なくとも一つを調整（移動、傾斜、シフト）させることが好ましい。この場合、照明光学系内のブラインド結像光学系12以外の光学系を調整しても良いことは言うまでもない。

15 以上のように、図1に示す実施形態又は図12～図14に示す変形例では、照明光学系を構成する各光学部材の調整工程が完了した後に、照明光学系によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてレチクルに形成された転写用のパターンを感光性基板に重複露光又は通常露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、図1又は図12～図14に示す露光装置を

10  
11  
12  
13  
14  
15

20

25

用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図15のフローチャートを参照して説明する。

先ず、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される(S301)。次に、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される(S302)。その後、図1又は図12～図14に示す露光装置を用いて、マスク(レチクル)上のパターンの像がその投影光学系(投影光学ユニット)を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される(S303)。その後、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後(S304)、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行う(S305)。これにより、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

また、図1又は図12～図14に示す露光装置では、プレートP(例えは、ガラス基板)上に所定のパターン(回路パターン、電極パターン等)を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図16のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図16において、パターン形成工程(S401)では、図1又は図12～図14に示す露光装置を用いてレチクルのパターンを感光性基板(レジストが塗布されたガラス基板等)に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上のレジストに所定パターンが形成される。その後、露光されたプレートPは、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、プレートP上に多数の電極等を含む所定のパターンが形成される。

次に、カラーフィルター形成工程（S 4 0 2）では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたカラーフィルター、又は、R、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。

5 次に、セル組み立て工程（S 4 0 3）が実行される。セル組み立て工程では、パターン形成工程（S 4 0 1）にて得られた所定パターンを有するプレートP、およびカラーフィルター形成工程（S 4 0 2）にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程では、例えば、パターン形成工程にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル〈液晶セル〉を製造する。

6 10 次に、モジュール組み立て工程（S 4 0 4）において、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

6 15 なお、上述の本実施形態では、レチクルとプレートPとをほぼ静止させた状態で露光を行う、いわゆるステップ・アンド・リピート方式の例を挙げたが、レチクルブラインドを有する他のステップ・アンド・スキャン方式の露光装置にも、本発明を当然に適用可能である。また、露光波長も、g線、h線、i線や、Kr 20 Fエキシマレーザ光、Ar Fエキシマレーザ光、F2レーザ光などに特に限定されるものではないことはいうまでもない。

## 請求の範囲

1. 感光性基板上にマスクの転写用パターンを重複露光することにより、前記マスクの転写用パターンよりも大きなパターンを前記感光性基板に露光する露光装置において、

5 照明光を供給する光源ユニットと、  
 転写用パターンを有する前記マスクに前記照明光を導く照明光学系と、  
 を含み、  
 前記照明光学系は、  
 前記マスクと光学的にほぼ共役な位置に配置されて前記マスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定ユニットと、  
 前記照明領域規定ユニットにより規定された所定領域を前記マスク上に投影して前記マスク上に照明領域を形成する結像光学系と、  
 を含み、  
 前記露光装置は、さらに、  
 前記マスク上に形成される照明領域または前記感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を調整するための調整ユニットを含む、露光装置。

10 2. 前記感光性基板上の露光領域に前記マスクの転写用パターンの像を投影する投影光学系をさらに含む、クレーム 1 記載の露光装置。

15 3. 前記露光装置は、  
 前記結像光学系の前記照明領域規定ユニット側の最大開口数を N A 1、前記結像光学系の結像倍率の絶対値を  $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数を N A 2 とするとき、

$$0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$$

なる式を満たす、クレーム 2 記載の露光装置。

20 25 4. 前記式である  $0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$  の代わりに、  
 0.  $0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 4$

なる式を満たす、クレーム 3 記載の露光装置。

5. 前記照明領域規定ユニットは、前記マスク上に形成される前記照明領域を可変とする、クレーム 1 記載の露光装置。

6. 前記調整ユニットは、前記結像光学系における結像倍率、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、球面収差、コマ収差、像面傾斜、偏心ディストーション、偏心コマ収差、および偏心非点隔差の内の少なくとも一つを調整する、クレーム 1 記載の露光装置。

7. 前記調整ユニットは、前記マスク上または前記感光性基板上への光束の重心の照射角、および前記マスク上または前記感光性基板上での照度ムラのうちの少なくとも一つを調整する、クレーム 1 記載の露光装置。

8. 前記調整ユニットは、前記照明領域規定ユニットおよび前記結像光学系の少なくとも一部のうちの少なくとも一方を、光軸に沿って移動させること、光軸と直交する面内でシフトさせること、光軸に対して傾斜させること、および光軸回りに回転させることのうちの少なくとも一つによって調整する、クレーム 1 記載の露光装置。

9. 前記調整ユニットは、前記光学特性を調整するための第 1 レンズまたは第 1 レンズ群と、前記光学特性の調整により悪化する光学特性を補正するための第 2 レンズまたは第 2 レンズ群とをそれぞれ移動または傾斜させる、クレーム 1 記載の露光装置。

20 10. 前記結像光学系の光学特性を得るために、前記マスク上に形成される照明領域または前記感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を計測する計測ユニットをさらに含む、クレーム 1 記載の露光装置。

11. 前記調整ユニットは、  
前記結像光学系を構成する少なくとも一つのレンズを、光軸に沿って移動させること、光軸と直交する面に沿ってシフトさせること、光軸に対して傾斜させること及び光軸回りに回転させること、のうち少なくともいずれか一つにより、

前記結像光学系における結像倍率、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、球面収差、コマ収差、像面傾斜、偏心ディストーション、偏心コマ収差、及び、偏心非点隔差のうち少なくともいずれか一つを調整する、クレーム 1 記載の露光装置。

12. 前記光学特性を計測する計測ユニットを含み、

5 前記調整ユニットは、前記計測ユニットの計測に基づき前記調整をする、クレーム 1 記載の露光装置。

13. 前記重複露光するために、すでに露光された領域と部分的に重なる露光がされる位置に、前記感光性基板又は前記マスクのうち少なくともいずれか一方を移動させる移動ユニットをさらに含む、クレーム 1 記載の露光装置。

14. 感光性基板上にマスクの転写用パターンを露光する露光装置において、

照明光を供給する光源ユニットと、

転写用パターンを有する前記マスクに前記光源ユニットから供給された照明光を導く照明光学系と、

前記感光性基板上に形成される露光領域に前記マスクの転写用パターンの像を投影する投影光学系と、

を含み、

前記照明光学系は、

前記マスクと光学的にはほぼ共役な位置に配置されて前記マスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定ユニットと、

前記照明領域規定ユニットにより規定された所定領域を前記マスク上に投影して前記マスク上に照明領域を形成する結像光学系と、

を含み、

前記露光装置は、

前記マスク上に形成される照明領域または前記感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を調整する調整ユニットをさらに含み、

ここで、前記結像光学系の前記照明領域規定ユニット側の最大開口数を N A

1、前記結像光学系の結像倍率の絶対値を  $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数を N A 2 とするとき、

$$0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$$

5 なる式を満たす、露光装置。

15. 前記式である  $0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$  の代わりに、

$$0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 4$$

なる式を満たす、クレーム 1 4 記載の露光装置。

16. 前記調整ユニットは、前記結像光学系における結像倍率、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、球面収差、コマ収差、像面傾斜、偏心ディストーション、偏心コマ収差、および偏心非点隔差の内の少なくとも一つを調整する、クレーム 1 4 記載の露光装置。

17. 前記調整ユニットは、前記マスク上または前記感光性基板上への光束の重心の照射角、および前記マスク上または前記感光性基板上での照度ムラのうちの少なくとも一つを調整する、クレーム 1 4 記載の露光装置。

18. 前記調整ユニットは、前記照明領域規定ユニットおよび前記結像光学系の少なくとも一部のうちの少なくとも一方を、光軸に沿って移動させること、光軸と直交する面内でシフトさせること、光軸に対して傾斜させること、および光軸回りに回転させることのうちの少なくとも一つによって調整する、クレーム 1 4 記載の露光装置。

19. 前記調整ユニットは、前記光学特性を調整するための第 1 レンズまたは第 1 レンズ群と、前記光学特性の調整により悪化する光学特性を補正するための第 2 レンズまたは第 2 レンズ群とをそれぞれ移動または傾斜させる、クレーム 1 4 記載の露光装置。

20. 前記結像光学系の光学特性を得るために、前記マスク上に形成される照明領域または前記感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を計測す

る計測ユニットをさらに含む、クレーム 1 4 記載の露光装置。

21. 前記調整ユニットは、

前記結像光学系を構成する少なくとも一つのレンズを、光軸に沿って移動させること、光軸と直交する面に沿ってシフトさせること、光軸に対して傾斜させること及び光軸回りに回転させること、のうち少なくともいずれか一つにより、

前記結像光学系における結像倍率、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、球面収差、コマ収差、像面傾斜、偏心ディストーション、偏心コマ収差、及び、偏心非点隔差のうち少なくともいずれか一つを調整する、クレーム 1 4 記載の露光装置。

22. 前記光学特性を計測する計測ユニットをさらに含み、

前記調整ユニットは、前記計測ユニットの計測に基づき前記調整をする、クレーム 1 4 記載の露光装置。

23. 前記照明光学系の瞳での照明光の大きさ及び形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変ユニットをさらに含む、クレーム 1 4 記載の露光装置。

24. 前記調整ユニットは、前記可変ユニットにより変化する前記光学特性を調整する、クレーム 2 3 記載の露光装置。

25. 前記マスクの転写用パターンの像を前記感光性基板に走査露光するために、所定の走査方向に沿って前記マスク及び前記感光性基板を前記投影光学系に対して相対移動させる走査ユニットをさらに含み、

前記照明光学系は、

前記可変ユニットと前記照明領域規定ユニットとの間に配置され、前記可変ユニットを介した照明光で前記マスクを照明するオプティカルインテグレータを含み、

前記オプティカルインテグレータの光軸と垂直な断面の短辺方向又は前記オプティカルインテグレータを構成する多数の光学素子の光軸と垂直な断面の短辺方向と光学的に対応する方向が前記走査方向と一致するように、前記オプティカルインテグレータは配置されている、クレーム 1 4 記載の露光装置。

26. 露光装置において、  
所定のパターンを有するマスクにて照明領域を形成する照明領域形成光学系  
を含む照明光学系と、

前記マスクのパターン像を感光性基板に投影する投影光学系と、  
5 前記照明光学系を調整する調整ユニットと、  
を含み、

ここで、前記照明領域形成光学系の光源側の最大開口数を N A 1、前記照明  
領域形成光学系の結像倍率  $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数  
を N A 2 とするとき、次式を満足する露光装置。

◎10 0. 01 < N A 1 / ( N A 2 ×  $\beta$  ) < 6

27. 前記調整ユニットは、前記照明領域形成光学系を構成する多数の光  
学部材のうちの少なくとも 1 つを調整する、クレーム 26 記載の露光装置。

28. クレーム 1 記載の露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法に  
おいて、

前記照明光学系によって前記マスクを照明する照明工程と、

前記マスクに形成された転写用のパターンを前記感光性基板に露光する露光工  
程と、  
を含む、マイクロデバイスの製造方法。

29. クレーム 14 記載の露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法  
20 において、

前記照明光学系によって前記マスクを照明する照明工程と、

前記マスクに形成された転写用のパターンを前記感光性基板に露光する露光工  
程と、  
を含む、マイクロデバイスの製造方法。

30. マイクロデバイスの製造方法であって、

転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明工程と、

感光性基板上に前記マスクの転写用パターンを重複露光する露光工程と、  
を含み、

前記照明工程は、

前記マスクと光学的にほぼ共役な位置において前記マスク上に形成すべき照  
明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定工程と、

結像光学系を用いて前記所定領域を前記マスク上に投影して前記マスク上に  
照明領域を形成する照明領域形成工程と、

を含み、

前記マイクロデバイスの製造方法は、さらに、

前記露光工程に先だって、前記結像光学系の光学特性を調整するための調整  
工程を含む、マイクロデバイスの製造方法。

3 1 . 前記露光工程は、投影光学系を用いて前記感光性基板上の露光領域  
に前記マスクの転写用パターンの像を投影する投影工程を含む、クレーム 3 0 記  
載のマイクロデバイスの製造方法。

3 2 . 前記結像光学系の前記マスク側と反対側の最大開口数を N A 1 、前  
記結像光学系の結像倍率の絶対値を  $\beta$  、前記投影光学系の前記感光性基板側の最  
大開口数を N A 2 とするとき、

$$0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$$

なる式を満たす、クレーム 3 0 記載のマイクロデバイスの製造方法。

3 3 . 前記式である  $0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$  の代わりに、  
 $0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 4$

なる式を満たす、クレーム 3 2 記載のマイクロデバイスの製造方法。

3 4 . 前記照明領域規定工程は、前記マスク上に形成される前記照明領域  
を可変とする可変工程を含み、

前記調整工程は、前記可変工程による前記照明領域の変更に応じて前記結像光  
学系の光学特性を調整することを含む、クレーム 3 0 記載のマイクロデバイスの

製造方法。

35. 前記マスク上に形成される照明領域または前記感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を計測する計測工程をさらに含み、

前記調整工程は、前記計測工程による計測結果に基づいて前記結像光学系の光学特性を調整することを含む、クレーム 30 記載のマイクロデバイスの製造方法。

36. マイクロデバイスの製造方法であって、

転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明工程と、

感光性基板上に前記マスクの転写用パターンを露光する露光工程と、

前記露光工程は、投影光学系を用いて感光性基板上に前記マスクの転写用パ

ターンの像を投影する投影工程と、

を含み、

前記照明工程は、

前記マスクと光学的にほぼ共役な位置において前記マスク上に形成すべき照明領域に対応する所定領域を規定する照明領域規定工程と、

結像光学系を用いて前記所定領域を前記マスク上に投影して前記マスク上に照明領域を形成する照明領域形成工程と、

を含み、

ここで、前記結像光学系の前記マスク側と反対側の最大開口数を  $NA_1$ 、前記結像光学系の結像倍率の絶対値を  $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数を  $NA_2$  とするとき、

$$0.01 < NA_1 / (NA_2 \times \beta) < 6$$

なる式を満たし、

前記マイクロデバイスの製造方法は、さらに、

前記露光工程に先だって、前記結像光学系の光学特性を調整するための調整工程を含む、マイクロデバイスの製造方法。

37. 前記式である  $0.01 < NA_1 / (NA_2 \times \beta) < 6$  の代わりに、

$$0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 4$$

なる式を満たす、クレーム 3 6 記載のマイクロデバイスの製造方法。

38. 前記照明領域規定工程は、前記マスク上に形成される前記照明領域を可変とする可変工程を含み、

5 前記調整工程は、前記可変工程による前記照明領域の変更に応じて前記結像光学系の光学特性を調整することを含む、クレーム 3 6 記載のマイクロデバイスの製造方法。

39. 前記マスク上に形成される照明領域または前記感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を計測する計測工程をさらに含み、

10 前記調整工程は、前記計測工程による計測結果に基づいて前記結像光学系の光学特性を調整することを含む、クレーム 3 6 記載のマイクロデバイスの製造方法。

40. 前記照明工程は、照明光学系の瞳での照明光の大きさ及び形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変工程を含む、クレーム 3 6 記載のマイクロデバイスの製造方法。

41. 前記調整工程は、前記可変工程により変化する前記光学特性を調整する工程を含む、クレーム 4 0 記載のマイクロデバイスの製造方法。

42. 前記照明工程は、オプティカルインテグレータを介して前記マスクを均一に照明する均一照明工程を含み、

20 前記露光工程は、前記オプティカルインテグレータの光軸と垂直な断面の短辺方向又は前記オプティカルインテグレータを構成する多数の光学素子の光軸と垂直な断面の短辺方向と光学的に対応する所定方向に沿って、前記マスク及び前記感光性基板を前記投影光学系に対して相対移動させて、前記マスクの転写用パターンの像を前記感光性基板に走査露光する走査露光工程を含む、クレーム 3 6 記載のマイクロデバイスの製造方法。

25 43. マイクロデバイスの製造方法において、

所定のパターンを有するマスクにて照明領域を形成する照明領域形成光学系

を含む照明光学系を用いて前記マスクを照明する工程と、

前記マスクのパターン像を感光性基板に投影する投影光学系を用いて前記感光性基板を露光する工程と、

前記照明光学系を調整する工程と、

5 を含み、

ここで、前記照明領域形成光学系の光源側の最大開口数をNA1、前記照明領域形成光学系の結像倍率 $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数をNA2とするとき、次式を満足するマイクロデバイスの製造方法。

0. 01 < NA1 / (NA2 × β) < 6

10 15

44. 前記照明光学系の瞳での照明光の大きさ及び形状のうちの少なくとも1つを可変とする可変工程をさらに含み、

前記調整する工程は、前記可変工程に応じて前記光学特性を調整する、クレーム4.3記載のマイクロデバイスの製造方法。

45. 前記マスクにて形成される照明領域を可変とする可変工程をさらに含み、

前記調整する工程は、前記可変工程に応じて前記光学特性を調整する、クレーム4.3記載のマイクロデバイスの製造方法。

46. 転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明光学系と、前記マスクの転写用パターン像を感光性基板上に投影する投影光学系と、を含み、前記感光性基板上に前記マスクの転写用パターンを重複露光することにより、前記マスク上の転写用パターンよりも大きなパターンを前記感光性基板に露光する露光装置の製造方法において、

前記照明光学系に残存する回転非対称収差又は偏心収差を補正する収差補正工 程と、

25 前記収差補正工程により悪化する光学特性を調整する調整工程と、  
を含む、露光装置の製造方法。

47. 前記照明光学系に含まれる結像光学系の前記マスク側と反対側の最大開口数をNA1、前記結像光学系の結像倍率の絶対値を $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数をNA2とするとき、

$$0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 6$$

5 なる式を満たす、クレーム46記載の露光装置の製造方法。

48. 前記式である $0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 6$ の代わりに、

$$0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 4$$

なる式を満たす、クレーム47記載の露光装置の製造方法。

49. 前記調整工程は、前記マスク上又は前記感光性基板上のテレンセントリシティの悪化を補正するテレンセン調整工程を含む、クレーム46記載の露光装置の製造方法。

50. 前記調整工程は、前記マスク上又は前記感光性基板上に形成される前記照明光学系の照明面の回転又は傾斜を補正する照明面補正工程を含む、クレーム46記載の露光装置の製造方法。

51. 前記照明面は、前記照明光学系内に配置された照明領域規定ユニットの規定する所定領域の像を有する、クレーム50記載の露光装置の製造方法。

52. 前記照明光学系に残存する収差を計測する計測工程をさらに備えた、クレーム46記載の露光装置の製造方法。

53. 転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明光学系と、前記マスクの転写用パターン像を感光性基板上に投影する投影光学系と、を含み、前記感光性基板上に前記マスクの転写用パターンを露光する露光装置の製造方法において、

前記照明光学系に残存する回転非対称収差又は偏心収差を補正する収差補正工程と、

前記収差補正工程により悪化する光学特性を調整する調整工程と、を含み、

前記照明光学系に含まれる結像光学系の前記マスク側と反対側の最大開口数を N A 1、前記結像光学系の結像倍率の絶対値を  $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数を N A 2 とするとき、

$$0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$$

5 なる式を満たす、露光装置の製造方法。

5 4. 前記式である  $0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 6$  の代わりに、

$$0.01 < N A 1 / (N A 2 \times \beta) < 4$$

なる式を満たす、クレーム 5 3 記載の露光装置の製造方法。

5 5. 前記調整工程は、前記マスク上又は前記感光性基板上のテレンセントリシティの悪化を補正するテレンセン調整工程を含む、クレーム 5 3 記載の露光装置の製造方法。

5 6. 前記調整工程は、前記マスク上又は前記感光性基板上に形成される前記照明光学系の照明面の回転又は傾斜を補正する照明面補正工程を含む、クレーム 5 3 記載の露光装置の製造方法。

5 7. 前記照明面は、前記照明光学系内に配置された照明領域規定ユニットの規定する所定領域の像を有する、クレーム 5 6 記載の露光装置の製造方法。

5 8. 前記照明光学系に残存する収差を計測する計測工程をさらに含む、クレーム 5 3 記載の露光装置の製造方法。

5 9. 転写用パターンを有するマスクを照明光で照明する照明光学系と、前記マスクの転写用パターン像を感光性基板上に投影する投影光学系とを含む露光装置の製造方法において、

前記マスク上に形成される照明領域または前記感光性基板上に形成される露光領域での光学特性を計測する計測工程と、

前記計測工程による計測結果に基づいて、前記照明光学系に残存する回転対称収差を補正する第 1 収差補正工程と、

前記計測工程による計測結果に基づいて、前記照明光学系に残存する回転非対

称収差を補正する第2収差補正工程と、  
を含む、露光装置の製造方法。

60. 前記計測工程は、  
前記マスクと光学的にほぼ共役な位置または前記マスクと同位置に置かれた  
テス用パターンを用いて前記感光性基板に前記テス用パターンを試し露光す  
る試し露光工程と、  
該試し露光工程により前記感光性基板に露光された前記テス用パターンを  
解析する解析工程と、  
を含む、クレーム59記載の露光装置の製造方法。

61. 前記計測工程は、  
前記マスクと光学的にほぼ共役な位置、前記マスクと同位置、または前記感  
光性基板と同位置での光学特性を光電的に検出する光電検出工程を含む、クレー  
ム59記載の露光装置の製造方法。

62. 前記第1収差補正工程と前記第2収差補正工程との少なくとも一方  
の補正によって悪化する前記照明光学系の光学特性を調整する調整工程をさら  
に含む、クレーム59記載の露光装置の製造方法。

63. 前記照明光学系に含まれる結像光学系の前記マスク側と反対側の最  
大開口数をNA1、前記結像光学系の結像倍率の絶対値を $\beta$ 、前記投影光学系の  
前記感光性基板側の最大開口数をNA2とするとき、

$$0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 6$$

なる式を満たす、クレーム59記載の露光装置の製造方法。

$$64. \text{ 前記式である } 0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 6 \text{ の代わりに、}$$

$$0.01 < NA1 / (NA2 \times \beta) < 4$$

なる式を満たす、クレーム63記載の露光装置の製造方法。

65. 前記露光装置は、前記感光性基板上に前記マスクの転写用パターン  
を重複露光することにより、前記マスクの転写用パターンよりも大きなパターン

を前記感光性基板に露光する、クレーム5-9記載の露光装置の製造方法。

## 6.6. マスクに形成されたパターンを感光性基板に露光する露光装置の製造方法において、

前記マスクにて照明領域を形成する照明領域形成光学系を含む照明光学系を

## 5 設置する工程と、

前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影光学系を設置する工程と、

前記照明光学系の光学特性を計測する工程と、

前記照明光学系を調整する工程と、

を含み、

ここで、前記照明領域形成光学系の光源側の最大開口数をNA1、前記照明領域形成光学系の結像倍率 $\beta$ 、前記投影光学系の前記感光性基板側の最大開口数をNA2とするとき、次式を満足する露光装置の製造方法。

$$0, 0.1 < \text{NA1} / (\text{NA2} \times \beta) < 6$$

開示内容の要約

露光装置は、マスクの転写用パターンを感光性基板上に重複露光する。露光装置は、マスクに照明光を導く照明光学系を備える。照明光学系の結像光学系は、マスク上に照明領域を形成する。露光装置は、レンズ駆動装置を備える。レンズ駆動装置は、結像光学系を構成するレンズの少なくとも一つを、光軸に沿って移動等させることにより、結像光学系の光学特性を補正する。

5